

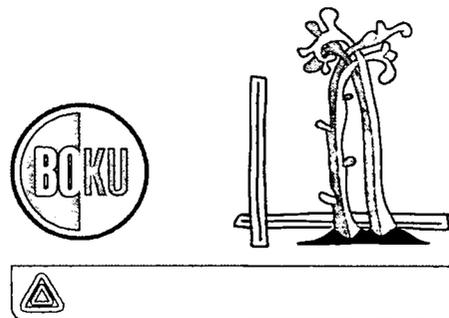
# ANZUCHTVERSUCHE VON TRIFOLIUM ALPINUM (ALPENKLEE) FÜR DIE SAATGUTPRODUKTION

Diplomarbeit im Rahmen des Studiums  
der Landschaftsplanung und Landschaftspflege

eingereicht von **Evelyn Scherer**

**0140338**

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau  
der Universität für Bodenkultur



Betreuung:

O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth

Wien, im Dezember 2006

# DANKSAGUNG

Ich möchte mich ganz herzlich bei allen bedanken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen und mich während meines Studiums fachlich wie menschlich unterstützt und gefördert haben.

Mein Dank gilt:

- Herrn O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth für die Betreuung meiner Diplomarbeit.
- Herrn Dr. Giovanni Peratoner und Dr. Willigis Gallmetzer für das Ins-Leben-Rufen des Projekts, in dessen Rahmen ich meine Diplomarbeit erstellen konnte. Dr. Giovanni Peratoner danke ich besonders für die fachliche Unterstützung und die Anregungen Zusammenhänge genau und kritisch zu betrachten, sowie für das Korrekturlesen. Dr. Willigis Gallmetzer danke ich für zahlreiche fachliche Tipps und die organisatorische Unterstützung.
- Herrn Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl Moder und Univ. Ass. Dipl.-Ing. Bernhard Spangl für die Beratung in statistischen Fragen.
- Herrn Heinrich Abraham für die Hilfestellungen aus seiner jahrelangen Praxiserfahrung und die Benützung des Gewächshauses.
- Herrn Dr. Manuel Pramsohler für den Keimtest und Hilfe beim Versuchsaufbau.
- Herrn Christian Peterlin für die Bereitstellung von technischen Hilfsmitteln, Frau Paula Lambacher, Karin Thaler und Doris Trockner für das Mitbetreuen meiner Pflanzen im Gewächshaus.
- Den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Labors vom Versuchszentrum Laimburg.
- Frau Maria Voppichler für die Arbeiten im Forstgarten von Prettau.
- Herrn Dr. Hermann Mantinger für sein ermutigendes Gespräch und Interesse.
- Meiner Freundin Ruth für die Hilfe bei der Feldaufnahme.
- Meiner Mutter, die eine wichtige Stütze in meinem Leben darstellt und mit großem Interesse meine Arbeiten verfolgte.
- Meinem Vater für die Motivation und Möglichkeit ein Studium zu absolvieren.
- Meinem Freund Markus für die Ermutigungen während meines Studiums, besonders während des Verfassens der Diplomarbeit und seine Hilfe bei EDV Problemen.

# INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG .....	iii
ABSTRACT .....	iv
1. EINLEITUNG .....	1
1.1. Darstellung der Problematik.....	1
1.2. Fragestellung .....	3
2. DIE TESTPFLANZE TRIFOLIUM ALPINUM .....	5
2.1. Vorkommen.....	5
2.2. Natürliche Wachstumsbedingungen.....	6
2.3. Habitus.....	6
2.4. Pflanzenentwicklung .....	7
2.5. Stickstofffixierung.....	9
3. GEFÄSSVERSUCH LAIMBURG .....	10
3.1. Material und Methoden .....	10
3.1.1. Versuchsdesign.....	10
3.1.1.1. Charakteristika der verwendeten Substrate .....	11
3.1.1.2. Charakteristika der Gießwässer .....	12
3.1.1.3. Lage und Wuchsbedingungen .....	13
3.1.1.4. Vorbereitungsarbeiten .....	14
3.1.1.5. Anlage des Versuchs .....	18
3.1.2. Versuchsauswertung.....	20
3.1.2.1. Erfassung von Wachstumsparametern.....	20
3.1.2.2. Rhizobienuntersuchung .....	22
3.1.2.3. Statistische Auswertung .....	22
3.2. Ergebnisse.....	24
3.2.1. Pflanzenentwicklung .....	24
3.2.2. Biomasse zum Erntezeitpunkt .....	34
3.2.3. Bildung von Rhizobienknöllchen .....	41
4. FELDVERSUCH PRETTAU .....	44
4.1. Material und Methoden .....	44
4.1.1. Versuchsdesign.....	44
4.1.1.1. Lage .....	44
4.1.1.2. Versuchsanordnung .....	45

4.1.1.3.	Vorbereitungsarbeiten .....	47
4.1.2.	Versuchsauswertung.....	49
4.1.2.1.	Erfassung von Wachstumsparametern.....	49
4.1.2.2.	Statistische Auswertung .....	52
4.2.	Ergebnisse.....	53
4.2.1.	Entwicklungszustand der 5 Monate alten Roottrainerpflanzen .....	53
4.2.2.	Entwicklung der Pflanzen im Feld .....	55
4.2.2.1.	Deckungsgrad von <i>Trifolium alpinum</i> .....	55
4.2.2.2.	Deckungsgrad von Unkräutern.....	57
4.2.2.3.	Horstdurchmesser der <i>Trifolium alpinum</i> - Pflanzen .....	58
4.2.2.4.	Anzahl der <i>Trifolium alpinum</i> und Unkraut Pflanzen pro m <sup>2</sup> .....	61
4.2.3.	Samenreife .....	62
5.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE .....	64
6.	LITERATURVERZEICHNIS.....	76
7.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	80
8.	TABELLENVERZEICHNIS .....	84
9.	ANHANG.....	86
9.1.	Beschriftung der Bildreihen.....	86
9.2.	Darstellung der Bildreihen.....	88

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz von standortgerechtem Saatgut bringt einen langfristigen Erfolg für die Begrünung von alpinen Hochlagen, wie zahlreiche Autoren aufzeigen konnten. Die Vorliegende Arbeit befasst sich mit der Saatgutproduktion von *Trifolium alpinum*, da die Anzucht dieser alpinen Pflanzenart erhebliche Schwierigkeiten darstellt. Als Leguminose kann *Trifolium alpinum* Stickstoff anhand von Knöllchenbakterien binden und besitzt somit eine hohe Aufbaukraft, wenn in Böden schlechte Nährstoffverhältnisse vorherrschen. Außerdem trägt sie durch ihre starke Pfahlwurzel zur Bodenstabilität bei.

Gefäßversuche wurden im Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrum Laimburg (Südtirol, Italien) durchgeführt, um die Anzucht auf verschiedenen standortfremden (allochthonen) Substraten zu prüfen und die Auswirkungen einer Beigabe von standorteigener Erde (Inokulum) zu testen, sowie mögliche Einflüsse durch Regenwasser und kalkhaltiges Leitungswasser herauszufinden. Die Topfversuche sollten helfen einen geeigneten Standort für den Feldversuch zu finden. *Trifolium alpinum* erzielte die höchste Biomasse in handelsüblichem Kultursubstrat. Die Beigabe vermochte das Wachstum in den verwendeten Substraten aus Felderde zu steigern. Pflanzen, die ausschließlich in standorteigener Erde herangezogen wurden, erreichten ein sehr niedriges Gewicht. Das Inokulum konnte eine Infektion mit Rhizobienbakterien bewirken. Durch die Bewässerung mit Leitungswasser zeigten die Pflanzen ein geringeres Gewicht, als durch jene mit Regenwasser.

Der Feldversuch wird auf 1.600 m ü. d. M. im Forstgarten von Prettau/Ahrntal (Südtirol, Italien) durchgeführt. Pflanzen wurden fünf Monate lang in Rootainer auf Kultursubstrat mit oder ohne eine Beigabe von standorteigener Erde vorgezogen und dann mit unterschiedlichem Pflanzenabstand in der Reihe ausgepflanzt. *Trifolium alpinum* müsste die Reihen schnell schließen und dementsprechend schnell wachsen, damit es der Konkurrenz durch die Unkrautpflanzen standhält. Nach 3 Monaten konnte nicht festgestellt werden, welcher Pflanzenabstand (7,5 cm oder 10 cm) ein schnelleres Schließen der Reihen bewirkt. Die Beigabe konnte die Zunahme an Deckung durch *Trifolium alpinum* nicht erhöhen. Die Unkräuter nahmen allerdings stark an Deckung zu. Die Anzucht in Rootainer begünstigte das Pflanzenwachstum derart, dass einige Exemplare bereits in der ersten Vegetationsperiode blühten und eine kleine Menge von

Samen geerntet werden konnte. Keimtests haben gezeigt, dass die Samen eine Keimruhe besitzen, aber nach einer Skarifikation höchst lebensfähig sind. Durch diese Studie wurden neue Erkenntnisse zur Kultivierung von *Trifolium alpinum* gewonnen. Möglicherweise wird es in Zukunft gelingen Saatgut dieser Art zu produzieren.

## ABSTRACT

The use of indigenous species is a prerequisite for the achievement of long-term successful restoration of erosion areas above the timberline, which has been demonstrated by numerous authors. The present work focuses on the cultivation and seed propagation of *Trifolium alpinum*, because this topic involves many difficulties in practice. As a *Leguminosae*, *Trifolium alpinum* is able to fix N<sub>2</sub> by means of root nodules, thus has positive effects on the amelioration of soil nutrition. Its long and strong taproot permits an effective stabilisation of the ground.

Pot experiments were conducted at the Research Centre for Agriculture and Forestry Laimburg (South Tyrol, Italy) to cultivate *Trifolium alpinum* on diverse allochthonous substrates and to investigate the effect of inoculation with autochthonous soil, as well as the influence of rain and calcareous tap water on the growth of the plant. The pot experiment should additionally assess which field soil is best suited to cultivate *Trifolium alpinum* for a field experiment. *Trifolium alpinum* was found to produce the highest biomass in a commercial substrate and the application of a thin layer of autochthonous soil could upgrade the biomass production in the two field soil substrates used. Plants grown in absolute autochthonous soil produced very low biomass. The inoculum induced a rhizoidal infection. As regards the effect of different irrigation waters on the dry matter of the *Trifolium alpinum* plants, the tap water leads to a decrease in biomass in comparison to rain water.

The field experiment is located in Prettau/Ahrntal (South Tyrol, Italy) at 1,600 m a. s. l. First *Trifolium alpinum* plants were cultivated in rootainers for the first five months, with and without a layer of autochthonous soil, and afterwards they were planted out in the field with different row spacing. The scope was to find the optimal row space which allows a rapid closing by the plants to diminish weed growth. The results after three months revealed that no spacing was superior to others. Furthermore, the Inoculum did not upgrade the spatial plant growth. In comparison to the dispersion of *Trifolium*

*alpinum*, the weed cover increased more strongly. The breeding in rootainers using commercial substrate leads few plants to flower already in the first season. Thus a small quantity of seeds could be harvested. Germination tests demonstrated seed dormancy, but after scarification the majority was able to germinate.

This study contributes new findings to the research of seed production of *Trifolium alpinum*. It is very likely that this kind of seeds will be produced in the near future.

# 1. EINLEITUNG

## 1.1. Darstellung der Problematik

Begrünungen nehmen in Hinblick auf die Bewahrung der biologischen Vielfalt unserer Kulturlandschaft einen wichtigen Stellenwert ein. Nach Bauvorhaben für Schipisten, Wege und Straßen, Wasserkraftwerke etc., hat die Begrünung in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Durch derartige Projekte wird die Vegetationsdecke zerstört, welche durch menschlichen Einsatz wiederhergestellt, aber nicht mehr in ihren natürlichen Zustand zurückgeführt werden kann. Als erstes gilt deshalb, Bauvorhaben in besonders sensiblen alpinen Vegetationseinheiten zu meiden und wenn nicht, eine maßnahmengerechte Begrünung durchzuführen (KRAUTZER et al. 2000).

Begrünungen haben unter anderem die Herstellung einer naturähnlichen oder naturidenten Vegetationsdecke zum Ziel (KRAUTZER et al. 2004). In den letzten Jahren haben Begrünungen in höheren Lagen mit naturschutzorientierten Zielen und untergeordneter ertragsorientierter Folgenutzung an Bedeutung gewonnen (KRAUTZER et al. 2004). Besondere Anforderungen werden dabei an Begrünungen in der subalpinen und alpinen Vegetationsstufe gestellt, wo besondere Lebensbedingungen herrschen (FLORINETH 2004). Eine dauerhafte Begrünung von Erosionszonen über der Waldgrenze kann nur erreicht werden, wenn standortgerechtes Saatgut für die Saatmischungen verwendet wird, d.h. wenn Arten eingesetzt werden, die an die alpinen Lebensbedingungen angepasst sind (FLORINETH 2004, KRAUTZER 1996, TAPPEINER 1996).

Der Mangel an standortgerechtem Handelssaatgut führte bei den Rekultivierungen von Erosionszonen in alpinen Hochlagen zu Problemen und ungenügenden Ergebnissen (SCHIECHTL 1972, URBANSKA 1989, FLORINETH 1992, KRAUTZER 1996). Niederungssaatgut, das für Zwecke der Grünlandbewirtschaftung in Tallagen gezüchtet wurde, wurde auch für Hochlagen verwendet, was aber zu unbefriedigenden Ergebnissen führte, da diese Pflanzen an die extremen Lebensbedingungen in der Höhe nicht angepasst sind (URBANSKA 1989, KRAUTZER 1996). FLORINETH (1988) zeigt auf, dass Tieflandpflanzen trotz boden- und nährstoffverbessernder Maßnahmen

nach einigen Jahren absterben oder ein kümmerliches Wachstum ohne Blüh- bzw. Samenbildung aufweisen.

Heute ist geeignetes Saatgut für Hochlagenbegrünungen im Handel erhältlich (KRAUTZER 1996) und für Gräser steht eine genügende Auswahl zur Verfügung (FLORINETH 2004). Als höhenresistente Arten haben sich unter den Kräutern bisher nur *Achillea millefolium* (Schafgarbe) und *Trifolium hybridum* (Schwedenklee) auf saurem Boden über 10 Jahre lang bewährt (FLORINETH 2004). Vermehrungsversuche werden an alpinen Gräsern und Kräutern durchgeführt (FLORINETH 2004), wobei eine fortlaufende Forschungstätigkeit notwendig ist.

Die Produktion und Verfügbarkeit von Saatgut ist Voraussetzung, um neben den klassischen Anforderungen der Begrünung, wie Hangsicherung und Oberflächenschutz, Grünflächen zu schaffen, die eine Biotop- und Artenschutzfunktion einnehmen (KRAUTZER et al. 2004). Begrünungsflächen müssen in einer Zeit, in der nutzungsextensive Lebensräume zurückgedrängt und zerstört werden, als potentielle ökologische Ausgleichsflächen angesehen werden (KRAUTZER et al. 2004).

Seitens der Abteilung Wasserschutzbauten der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol (Italien), die schon seit über 30 Jahren Hochlagenbegrünungen mit möglichst standortgerechtem Saatgut durchführt, besteht großes Interesse, die alpine Leguminosenart *Trifolium alpinum* in der Saatgutmischung für Hochlagen beizumischen, da sie im Handel nicht erhältlich ist. *Trifolium alpinum* ist eine in der Region vorkommende Pflanzenart. Als Pfahlwurzler und Stickstofffixierer wäre sie eine wichtige Komponente von Alpin-Saatgutmischungen. Durch die Arbeit von GÖGELE (2005) konnte bewiesen werden, dass es möglich ist *Trifolium alpinum* durch Saat in einer Begrünung erfolgreich zu etablieren.

Leguminosen sind ein wichtiger Bestandteil von Saatgutmischungen für Hochlagen. Besonders dort, wo durch Bauvorhaben die natürliche Vegetation zerstört wurde, ergeben sich ein Defizit an pflanzen-verfügbarem Stickstoff und das Problem einer erfolgreichen Rekultivierung, sowie einer langzeitigen Stabilität von sog. „disturbed lands“ (REEDER 1990). Durch die Symbiose mit stickstoffbindenden Bakterien besitzen Leguminosen eine hohe Aufbaukraft, wenn ungünstige Nährstoffverhältnisse vorherrschen (SCHIECHTL 1972). Außerdem wird durch ihre tiefe und rasche

Bodendurch-wurzelung schnell ein guter biologischer Erosionsschutz erreicht. *Trifolium alpinum* ist eine der wenigen *Leguminosae*, die auf sehr saurem Boden in hoher Lage vorkommt (PERATONER 2003). Sie trägt durch ihrer Fixierungsleistung von Stickstoff bedeutend zum Stickstoffhaushalt nährstoffarmer alpinen Ökosysteme bei (ARNONE III 1999, JACOT et al. 2000).

Die Produktion von vielen standortgerechten Arten, unter anderem *Trifolium alpinum*, ist mit viel größerem Aufwand und Risiko verbunden als die konventionelle Saatgutproduktion (KRAUTZER et al. 2004). KRAUTZER et al. (2004) betonen, dass höchste Sorgfalt geboten und ein mehrjähriger Lernprozess Voraussetzung für eine erfolgreiche Saatgutproduktion standortgerechter Arten ist. Die folgende Arbeit soll ein weiterer Schritt im Lernprozess über den Anbau von *Trifolium alpinum* sein.

## **1.2. Fragestellung**

Bisher ist die kommerzielle Saatgutproduktion von *Trifolium alpinum* nicht gelungen. Der Anbau von Alpenklee hat sich in Tallagen als problematisch erwiesen, da die Pflanzen im Vergleich zum Unkraut sehr langsam wachsen und Schädlinge die Entwicklung der Pflanzen beeinträchtigen (PERATONER 2003).

Die folgende Arbeit beschreibt den Versuch *Trifolium alpinum* in gärtnerischer Kultur in der montanen Stufe anzuzüchten, deren standörtliche Bedingungen sich nicht so stark von der alpinen Stufe, dem natürlichen Lebensraum der Pflanze, unterscheiden wie die Bedingungen im Flachland.

Gefäßversuche im Gewächshaus haben zum Ziel, die Bodeneigenschaften für eine erfolgreiche Anzucht von *Trifolium alpinum* zu erkennen und den Standort für einen Feldversuch bestimmen zu können. Weiters soll ermittelt werden, ob die Zugabe von autochthonem Boden aus dem Ursprungsgebiet, der für den Versuch verwendeten Samen, eine Bedeutung für die Entwicklung der Pflanzen hat. Als Drittes galt es, den Einfluss des Gießwassers herauszufinden, da befürchtet wird, sehr kalkhaltiges Leitungswasser könnte negative Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung haben (ABRAHAM pers. Mitt. 2006).

Der Feldversuch soll zeigen inwieweit es möglich ist, *Trifolium alpinum* anzubauen und keimfähiges Saatgut herzustellen, das in Hochlagenmischungen beigemischt werden kann. Es wird geprüft, wie ausdauernd die Pflanzen im Versuchsfeld sind und wie der Kosten- und Arbeitsaufwand in der Produktion verringert werden kann. Der Feldversuch wird in dieser Diplomarbeit bis zum Ende der ersten Vegetationsperiode dokumentiert.

Für den Gefäßversuch im Gewächshaus stellen sich folgende Fragen:

- Wie unterscheidet sich das Wachstum von *Trifolium alpinum* nach Art des für die Anzucht verwendeten Bodens?
- Hat das Gießwasser (Regen- oder Leitungswasser) Einfluss auf die Pflanzenentwicklung?
- Unterscheidet sich die Knöllchenentwicklung nach Art des für die Anzucht verwendeten Bodensubstrats?

Für den Feldversuch wurden folgende Fragestellungen formuliert:

- Haben Pflanzenabstand und Inokulierung mit Originalerde aus Meran 2000 Einfluss auf den Reihenschluss?
- Wie hoch ist der Deckungsgrad an *Trifolium alpinum*-Pflanzen und Unkrautpflanzen?
- Wie schnell und in welchem Ausmaß erreicht *Trifolium alpinum* die generative Phase, wenn er unter relativ günstigen Bedingungen angebaut wird?
- Wie steht es um die Vitalität der Pflanzen?
- Wie groß ist der Pflegeaufwand?

Um die Besonderheiten und Ansprüche von *Trifolium alpinum* zu verstehen wird zu Beginn auf die Charakteristika der Testpflanze eingegangen. Im Kapitel Gefäßversuch werden die grundlegenden Auswirkungen der verwendeten Substrate und Gießwässer auf die Pflanzenentwicklung beschrieben. Aufgrund dieses Basiswissens wird der Feldversuch festgelegt und die Entwicklung der Pflanzen im Feld untersucht (Kapitel 4 Feldversuch Prettau).

## 2. DIE TESTPFLANZE TRIFOLIUM ALPINUM



Abbildung 1: *Trifolium alpinum*, Alpenklee (Quelle: SCHRÖTER 1888 in KRAUTZER et al. 2004)

### 2.1. Vorkommen

*Trifolium alpinum*, der Alpenklee, ist eine alpine *Leguminosae*, die ihr Hauptverbreitungsgebiet in der subalpinen und alpinen Stufe der Westalpen hat (ADLER et al. 1994). Weiters kommt sie in den Zentralalpen (FINKENZELLER & GRAU 1985) und Südalpen vor. In den West- und Zentralalpen ist die Art von 1.600 bis 3.100 m (SCHAUERER & CASPARI 1975) und in den Südalpen von 1.500 bis 2.500 m verbreitet (PIGNATTI 1982). Die ausdauernde *Leguminosae* gedeiht auf sehr sauren, nährstoffarmen, kalkarmen, warmen, trockenen und nicht zu nassen Böden (DIETL & JORQUERA 2003, FINKENZELLER & GRAU 1985, ADLER et al. 1994). Die Pflanze ist besonders der Pflanzengesellschaft des Gebirgs-Borstgrasrasens, *Eu-Nardion* (ELLENBERG 1996) zuzuordnen. Sie kommt aber auch im Krummseggenrasen, *Caricion curvulae*, vor (FINKENZELLER & GRAU 1985). MERTZ (2000) führt *Trifolium alpinum* als eine Art des Bürstlings-Weiderasens (*Nardetum alpigenum*) an, der eine Zwischenstellung zwischen anthropogenen Wirtschaftsweiden und den alpinen Rasengesellschaften einnimmt.

## 2.2. Natürliche Wachstumsbedingungen

Gebirgspflanzen sind an extreme Lebensbedingungen angepasst und zeigen daher besondere Merkmalsausbildungen. Die Pflanzen besitzen entsprechende Eigenschaften und Anpassungsmechanismen in Zusammenhang mit Gestaltsausprägung, Stoffwechsel, Wachstum, Reproduktion und Stressbewältigung (TAPPEINER 1996). Die Frosttoleranz von *Trifolium alpinum* beispielsweise beträgt in der zweiten Julihälfte -6°C, im Vergleich zur Frosttoleranz der Talpflanze *Trifolium campestre* von -2,8°C Mitte Mai (KÖRNER 2003). Das Gebirgsklima ist durch eine kalte und kurze Vegetationsperiode charakterisiert, dies bedingt eine verringerte Aktivität der Lebensvorgänge und somit auch ein langsames Wachstum (SCHIECHTL 1972, TAPPEINER 1996). Der Stoffwechsel und die Atmungsaktivität alpiner Pflanzen funktioniert bereits bei niedrigen Temperaturen (TAPPEINER 1996). Das langsame Wachstum hat zur Folge, dass Gebirgspflanzen die Blühreife oft erst nach zehn oder mehr Jahren erreichen und damit eine geringere Reproduktionsleistung haben (TAPPEINER 1996). Außerdem ist in Hochlagen eine Unvorhersehbarkeit der Samenproduktion und Samenqualität gegeben (CHAMBERS 1989). Deshalb wird neben der Vermehrung durch Samen die vegetative Vermehrung umso wichtiger (TAPPEINER 1996).

## 2.3. Habitus

*Trifolium alpinum* ist an seiner dreizähligen-gefingerten Laubblattspreite zu erkennen, deren Blättchen ungestielt, linear-lanzettlich, kahl, spitz und 3-7 cm lang sind. Die Laubblätter sind grundständig mit einem bis zu 5 cm langen Stiel. Verzweigungen des Erdsprosses breiten sich am Boden aus und die Blätter sind rosettenartig gebüschelt. Die Stängel sind sehr kurz. Nebenblättern hüllen den oberirdischen Stängel ein und sind mit den Blattstielen verwachsen. Die Pflanze wird 5 – 20 cm hoch und bildet langgestielte kopfige Blütenstände mit 3 – 12 Schmetterlingsblüten. Die Blüten sind meist über 2 cm lang, fleischrosa bis purpurrot, duften und blühen von Juni bis August. Die Pflanze bildet eine über 1 m lange, faserumhüllte, 0,5 bis 1 cm dicke Pfahlwurzel aus.

Ein bis zwei Samen befinden sich in einer braunen Hülse. Die Samen sind eiförmig bis rund. Sie sind etwa 2,5 mm lang, 2 mm breit und 1,5 mm dick. Ihr Tausendkorngewicht

beträgt 4,8 bis 5,2 g. Der Same besitzt eine dicke Samenschale, ist leicht glänzend oder matt und gelbbraun oder grünlich braun bis braun gefärbt. Die Samen reifen Ende Juni bis Anfang Juli (KRAUTZER et al. 2004).

*Trifolium alpinum* Samen weisen eine Keimruhe auf. Der Samen kann so ungünstige Umweltbedingungen überdauern und keimt dann bei optimalen Bedingungen (FLÜELER 1992). FOSSATI (1980), SCHÜTZ (1988) und WEILENMANN (1981) haben gezeigt, dass zahlreiche Arten der Familie der *Leguminosae* eine Keimruhe angeboren haben, wenn sie wie *Trifolium alpinum* eine harte, wasser- und luftundurchlässige Schale besitzen.



Abbildung 2: Samen von *Trifolium alpinum* (Quelle: KRAUTZER et al. 2004)

Bei Samenreife lassen sich die Hülsen sehr leicht von den Stängeln entfernen; reife Samen sind braun gefärbt. Bisher gibt es wenig Erfahrung mit Erntemethoden für flächiges Entnehmen von Samen (KRAUTZER et al. 2004). PERATONER (2003) konnte im Feldversuch aufgrund eines starken Pflanzenausfalls nur eine Menge von 2,5 kg/ha an Samen ernten.

### 2.4. Pflanzenentwicklung

Die Keimung kann erfolgen, sobald die Keimruhe des Samens gebrochen ist. BILLINGS und MOONEY (1968, in FOSSATI 1980) stellten fest, dass in der alpinen Vegetationszone der Zeitpunkt der Keimung von der Temperatur gesteuert wird. CHABOT und BILLINGS (1972, in FOSSATI 1980) ergänzen Wasser als ebenso ausschlaggebenden Faktor für den Beginn der Keimung. Weitere Keimbedingungen sind Sauerstoff und Licht (FOSSATI 1980). Samen alpiner Arten finden häufig optimale Keimbedingungen unmittelbar nach der Schneeschmelze vor (FOSSATI 1980). FLÜELER (1992) erklärt, dass Samen je nach Mikrotopographie des Keimbettes unterschiedlich keimen und sog. Schutzstellen eine Keimung bzw. Etablierung der

Pflanze erst ermöglichen und fördern. Die chemischen Eigenschaften des Bodenspielen bei der Keimung von *Trifolium alpinum* keine Rolle (WEILENMANN 1981).

Die Keim- und Jungpflanzenphase ist im Leben einer Pflanze von großer Bedeutung, weil der Einfluss der Selektion durch Umwelteinflüsse in diesen Lebensphasen besonders ausgeprägt ist (WEILENMANN 1981, FLÜELER 1992). Die Etablierung der Keimlinge ist im extremen Ökosystem der alpinen Stufe besonders schwierig und die Sterberate von Jungpflanzen ist ausgesprochen hoch (SCHÜTZ 1988, FLÜELER 1992, FOSSATI 1980). URBANSKA (1991, in FLÜELER 1992) weist darauf hin, dass die Bedingungen einer Keimungsstelle nicht mit optimalen Bedingungen für die weitere Entwicklung der Pflanze übereinstimmen müssen. Die Bedürfnisse einer Pflanze können sich im Laufe ihrer Entwicklung ändern (YOUNG et al. 2005).

Unter natürlichen Bedingungen erfolgt das Keimlingswachstum sehr langsam und die oberirdischen Teile der Pflanze sind am Ende der ersten Vegetationsperiode noch winzig klein (FOSSATI 1980). So konnte beispielsweise SCHÜTZ (1988) nur zwei Blätter pro Pflanze in der 4. Saison nach der Aussaat auf seinen Versuchflächen über 2350 m verzeichnen. Die erste Vegetationsperiode im Feld dient in erster Linie der Entwicklung des Wurzelsystems, um in den im Spätsommer austrocknenden Böden zu überleben (BILLINGS und MOONEY 1968, in FOSSATI 1980). Nach WEILENMANN (1981) ist die Jungpflanzenentwicklung alpiner Arten vom Chemismus des Bodens deutlich beeinflusst. *Trifolium alpinum* - Pflanzen, die auf Karbonat (standortfremdes Substrat) herangezogen wurden, wuchsen kümmerlich und zeigten Chloroseerscheinungen, dagegen jene auf Silikat, dem Ernteboden der Samen, entwickelten sich sehr gut.

WEILENMANN (1981) beschreibt die Jungpflanzenentwicklung von *Trifolium alpinum* im Gewächshausversuch wie folgt: Das ungeteilte Primärblatt erschien etwa 10 Tage nach der Keimung. Im Pflanzenalter von 30 Tagen war das erste dreiteilige Laubblatt ausgebildet. WEILENMANN (1981) verzeichnete bei den Pflanzen auf Silikat nach 160 Tagen eine Höhe von 130 mm und einen Durchmesser von 150 mm.

## 2.5. Stickstofffixierung

Leguminosen gehen eine Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien, den Rhizobien oder Knöllchenbakterien, ein und sind daher fähig den molekularen Luftstickstoff zu binden, der somit biologisch verfügbar wird. Die Bakterien werden durch Wurzelexudate der Pflanze angelockt und dringen in die Wurzelhaare ein. Die Wurzelhaare werden eingekrümmt und verdicken sich. Es entstehen sog. Wurzelknöllchen, in denen sich die Rhizobien befinden (HANSEN 1994).

Eine derartige Symbiose kann nur zustande kommen, wenn für die Pflanze ein entsprechendes Rhizobium im Boden vorhanden ist (ALEXANDER 1984), weil sich Pflanzen- und Rhizobienpopulationen an die biotische und abiotische Umwelt adaptieren (EXPERT et al. 1997 in JACOT et al. 2000). JACOT et al. (2000) haben durch ihren Versuch gezeigt, wie gut die Symbiose zwischen Rhizobien und Leguminosen auch unter den ungünstigen Bedingungen in Hochlagen der Alpen funktioniert. Obwohl der Eintrag von  $N_2$  im alpinen Ökosystem durch stickstofffixierende Pflanzen relativ niedrig ist (STÖCKLIN, SCHWEIZER & KÖRNER 1998 in ARNONE III 1999), weil der Anteil an Leguminosen im Pflanzenbestand mit zunehmender Höhe abnimmt (JACOT et al. 2000), ist er nach BOWMAN et al. (1996, in ARNONE III 1999) im Vergleich zu anderen Stickstoffquellen signifikant. ARNONE III (1999) erwähnt, dass stickstofffixierende Pflanzen einen möglichen Einfluss auf benachbarte nicht-stickstofffixierende Pflanzenarten haben.

### 3. GEFÄSSVERSUCH LAIMBURG

#### 3.1. Material und Methoden

##### 3.1.1. Versuchsdesign

Die Entwicklung von *Trifolium alpinum* wird in Zusammenhang mit der für die Anzucht verwendeten Bodensubstrate, einer Zugabe von autochthonem Bodenmaterial (Inokulum) und der Art des Gießwassers untersucht. Als Substrat wurde ein handelsübliches Kultursubstrat (Presstopfsubstrat 46011 Stato Hum, Gebrüder Patzer GmbH – Sinntal/Jossa, Deutschland), Erde aus dem Schigebiet Meran 2000 (Hafling, Südtirol/Italien), Erde aus dem Pflanzgarten Prad am Stilfser Joch (Südtirol/Italien) und dem Forstgarten Prettau im Ahrntal (Südtirol/Italien) verwendet. Der Pflanzgarten Prad und der Forstgarten Prettau wurden als mögliche Standorte für den Feldversuch betrachtet. Als Inokulum wurde Erde aus Meran 2000, dem Herkunftsgebiet der Samen eingesetzt. Als Gießwasser wurde zum einen das Leitungswasser vom Gewächshaus und zum anderen Regenwasser benutzt. Folgende zehn Behandlungen wurden zu Versuchsbeginn Ende Februar erstellt:

Tabelle 1: Behandlungen der ersten Versuchsserie

Topfnummer	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	
	Substrat	Inokulum Meran 2000	Gießwasser	Abkürzung
1 – 15	Kultursubstrat	Ja	Regenwasser	KJR
15 - 30	Kultursubstrat	Ja	Leitungswasser	KJL
31 - 45	Kultursubstrat	Nein	Regenwasser	KNR
46 - 60	Kultursubstrat	Nein	Leitungswasser	KNL
61 - 75	Pflanzgarten Prad	Ja	Regenwasser	PJR
76 - 90	Pflanzgarten Prad	Ja	Leitungswasser	PJL
91 - 105	Pflanzgarten Prad	Nein	Regenwasser	PNR
106 - 120	Pflanzgarten Prad	Nein	Leitungswasser	PNL
121 - 135	Meran 2000		Regenwasser	MR
136 - 150	Meran 2000		Leitungswasser	ML

Da zu Versuchsbeginn leider keine Erde aus dem Forstgarten Prettau zur Verfügung stand, mussten die Behandlungen mit Erde aus Prettau verspätet erstellt werden. Varianten mit Erde Meran 2000 wurden als Kontrolle angelegt.

Tabelle 2: Behandlungen der zweiten Versuchsserie

Topfnummer	Faktor 1 Substrat	Faktor 2 Inokulum Meran 2000	Faktor 3 Gießwasser	Abkürzung
1 – 15	Forstgarten Prettau	Ja	Regenwasser	PrJR
15 - 30	Forstgarten Prettau	Ja	Leitungswasser	PrJL
31 - 45	Forstgarten Prettau	Nein	Regenwasser	PrNR
46 - 60	Forstgarten Prettau	Nein	Leitungswasser	PrNL
61 - 75	Meran 2000		Regenwasser	MR
76 - 90	Meran 2000		Leitungswasser	ML

### 3.1.1.1. Charakteristika der verwendeten Substrate

Für den Versuch wurden vier Substrate verwendet, deren Beschaffenheit im Bodenlabor des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrum Laimburg untersucht worden ist. Das Kultursubstrat wird im Handel zu 70 Liter Säcken verkauft. Es ist eigens für die gärtnerische Anzucht hergestellt. Die Menge an Phosphat liegt unter den Werten von den Erden Prad und Prettau. Kalium ist minimal mehr enthalten als in der Erde Prad (Tabelle 3).

Die Erde aus dem Pflanzgarten Prad wurde Mitte November 2005 ausgehoben und bis zur Verwendung Ende Februar 2006 in Plastiktöpfen in der Kühlzelle des Pflanzgarten Prad bei 4 bis 6 °C gelagert. Der humose schluffig lehmige Sand besitzt einen hohen Humusgehalt. Im Vergleich zu den anderen Substraten weist dieser Boden die höchsten Nährstoffkonzentrationen auf.

Die Erde aus dem Schigebiet Meran 2000 wurde Anfang November 2005 oberhalb der Waidmannalm entnommen und ebenfalls in der Kühlzelle im Pflanzgarten Prad aufbewahrt. Der anmoorige lehmige Sand zeigt typische Werte für einen alpinen Oberboden. Der extrem hohe Anteil an Humus kommt daher, dass in alpinen Regionen der Abbau organischer Substanz sehr langsam erfolgt. Der gebundene, für die Pflanze nichtverfügbare, Stickstoff im Boden steht im Zusammenhang mit dem Humusgehalt, mit anderen Worten je höher der Anteil an organischer Substanz im Boden, desto höher ist der Stickstoffpool (KÖRNER 2003). Obwohl wenige Nährstoffe in alpinen Böden vorhanden sind, können die Pflanzen durch ihr feines, stark ausgebildetes Wurzelsystem die limitierten Substanzen optimal nutzen (KÖRNER 2003).

Die Erde aus dem Forstgarten Prettau wurde im Mai 2006 ausgehoben und bis zur Erstellung der Varianten kurze Zeit im Gewächshaus in Plastiktöpfen aufbewahrt. Die Bodenart ist als stark humoser lehmiger Sand eingestuft. Der Humusgehalt ist höher als in der Erde aus Prad. Im Vergleich zur Erde Prad sind die Nährstoffkonzentrationen niedriger. Phosphat ist mehr als im Kultursubstrat enthalten. Kalium hingegen ist sehr viel weniger enthalten als im Kultursubstrat und in der Erde Prad, der Wert ist mit dem der Erde Meran 2000 zu vergleichen.

Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass sich die für die Anzucht von *Trifolium alpinum* verwendeten Substrate stark vom Boden des Herkunftsgebietes Meran 2000 unterscheiden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Beschaffenheit der Substrate (Quelle: Amt für Agrikulturchemie – Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg – Autonome Provinz Bozen)

Substrat	Kultursubstrat Stato Hum *	Pflanzgarten Prad	Meran 2000	Forstgarten Prettau
Bodenart		humoser schluffig lehmiger Sand	anmooriger lehmiger Sand	stark humoser lehmiger Sand
Humus (%)	k.A.	5,1	19,8	8,1
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,7	7,2	4,3	5,6
Karbonate	k.A.	sehr hoch	kein freies Karbonat	kein freies Karbonat
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	24,49	73	2	40
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	38,57	37	7	8
Mg (mg/100g)	11,84	38	6	21
B (mg/100g)	0,02	1,22	0	0,23
Mn (mg/100g)	1,22	25	3	4,5
Cu (mg/100g)	0,20	6	0	3,9
Zn (mg/100g)	0,24	13	4	1,2
Trockenmasse (%)	32,5	69,3	52,7	k.A.

\* in feuchtem Zustand analysiert, k. A. = keine Angabe

### 3.1.1.2. Charakteristika der Gießwässer

Tabelle 4 zeigt die Eigenschaften der für den Gefäßversuch verwendeten Gießwässer. Mit einem pH von 8 und einem Kalkgehalt von 73 mg/l ist das Leitungswasser sehr hart. Es ergibt sich eine Gesamthärte von 12,6 °d. Im Vergleich dazu ist das

Regenwasser sehr viel kalkärmer und deshalb auch weniger hart.  $\text{NH}_4$  und  $\text{NO}_3$  sind etwa im gleichen Maß in Leitungswasser und Regenwasser enthalten.

Tabelle 4: Beschaffenheit der Gießwässer vom Gewächshaus Laimburg (Quelle: Amt für Agrikulturchemie – Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg – Autonome Provinz Bozen)

	Leitungswasser	Regenwasser
pH	8	6,9
Karbonathärte (°d)	11,2	0,8
Gesamthärte (°d)	12,6	1,2
Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	458	52
Wasserlösliche Salze (mg/l)	268	30
Fe (mg/l)	0,1	0,02
$\text{SO}_4$ (mg/l)	55	3,1
Na (mg/l)	22,2	3,5
K (mg/l)	2,9	2,8
Mg (mg/l)	14,4	0,8
Ca (mg/l)	73	8,2
$\text{NH}_4$ (mg/l)	< 0,05	< 0,05
$\text{NO}_3$ (mg/l)	4,3	6,9
P (mg/l)	0,12	0,5

### 3.1.1.3. Lage und Wuchsbedingungen

Die Anzucht der *Trifolium alpinum* Pflanzen erfolgte in einem Gewächshaus des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrums Laimburg der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol (Italien). Die Versuchsanstalt liegt auf 225 m über dem Meer in der Gemeinde Pfatten.

Die Pflanzen wuchsen im Zeitraum von 22. Februar bis 11. April im Gewächshaus heran. Da die Temperatur im Gewächshaus stark anstieg und ein Befall von Trauermücke beobachtet wurde, sind die Pflanzen ins Freie gestellt worden, wo sie bis zum Erntezeitpunkt unter einem Glasdach geschützt gediehen. Die Behandlungen der zweiten Versuchsserie keimten und wuchsen in den Monaten Juli bis Anfang Oktober im Freien heran. Im Gewächshaus hatte es im Durchschnitt um die  $18^\circ\text{C}$ . Höchstwerte von  $29,8^\circ\text{C}$  wurden gemessen. Im Freien reichten die Temperaturen im April von  $2,2^\circ\text{C}$  bis  $25,4^\circ\text{C}$ . Bis Ende Juni stiegen die Tagestemperaturen bis  $33,7^\circ\text{C}$  an. Höchsttemperaturen von  $36,2^\circ\text{C}$  wurden im Juli verzeichnet. Im August sanken die

Temperaturen ab und Minimumwerte von 5,8 °C wurden gemessen. Im September erreichte die Durchschnittstemperatur 19 °C (Tabelle 5).

Tabelle 5: Minimale, Mittlere, Maximale Temperatur und Feuchte im Gewächshaus des Versuchszentrums Laimburg, sowie Außentemperatur im Versuchszeitraum Februar bis September 2006

	Min	Mittel	Max
22.02.2006 - 11.04.2006			
Gewächshaus Raumtemperatur (°C)	15,3	18,0	29,8
Gewächshaus Raumfeuchte (%rF)	6,1	63,0	88,0
Außentemperatur (°C)	- 4,2	7,3	21,6
11.04.2006 - 30.04.2006 Außentemperatur (°C)	2,2	14,2	25,4
01.05.2006 - 31.05.2006 Außentemperatur (°C)	5,6	17,3	29,4
01.06.2006 - 30.06.2006 Außentemperatur (°C)	7	21,5	33,7
01.07.2006 – 31.07.2006 Außentemperatur (°C)	13,8	24,6	36,2
01.08.2006 – 31.08.2006 Außentemperatur (°C)	5,8	18,7	28,8
01.09.2006 – 30.08.2006 Außentemperatur (°C)	6,7	19,0	24,5

#### 3.1.1.4. Vorbereitungsarbeiten

Samen von *Trifolium alpinum* waren händisch im Schigebiet Meran 2000 in der Gemeinde Hafling (Südtirol, Italien) auf rund 2000 Höhenmetern von Willigis Gallmetzer gesammelt worden. Das Gebiet von Meran 2000 liegt in den Sarntaler Alpen nordöstlich von Meran (Abbildung 4) und wird als Schi- und Wandergebiet genutzt. Die Samen stammen aus Lokalität „St. Oswald“, welche durch steinige alpine Matten charakterisiert ist. Die Fundstellen der Samen liegen Südwest bis Südost exponiert. *Trifolium alpinum* ist die einzige *Leguminosae*, die in diesem Gebiet vorkommt. Grasarten und Gramineen wie *Nardus stricta*, *Carex curvula* ssp. *curvula*, *Deschampsia flexuosa* und *Avenula versicolor* kommen im Herkunftsgebiet von *Trifolium alpinum* vor. Weiters besiedeln Zwergsträucher wie *Calluna vulgaris*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum* und *Rhododendron ferrugineum* diese Region (PERATONER 2003).

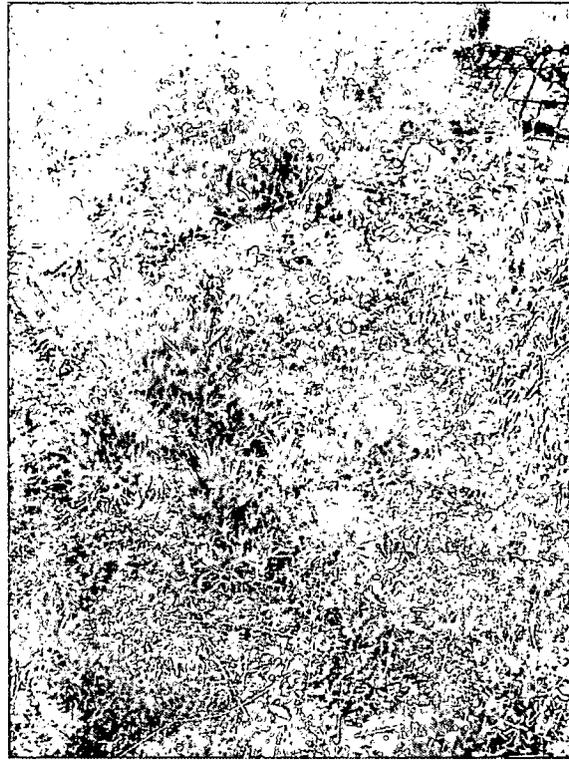


Abbildung 3: Alpine Pflanzengesellschaft mit *Trifolium alpinum* im Schigebiet Meran 2000/Hafling

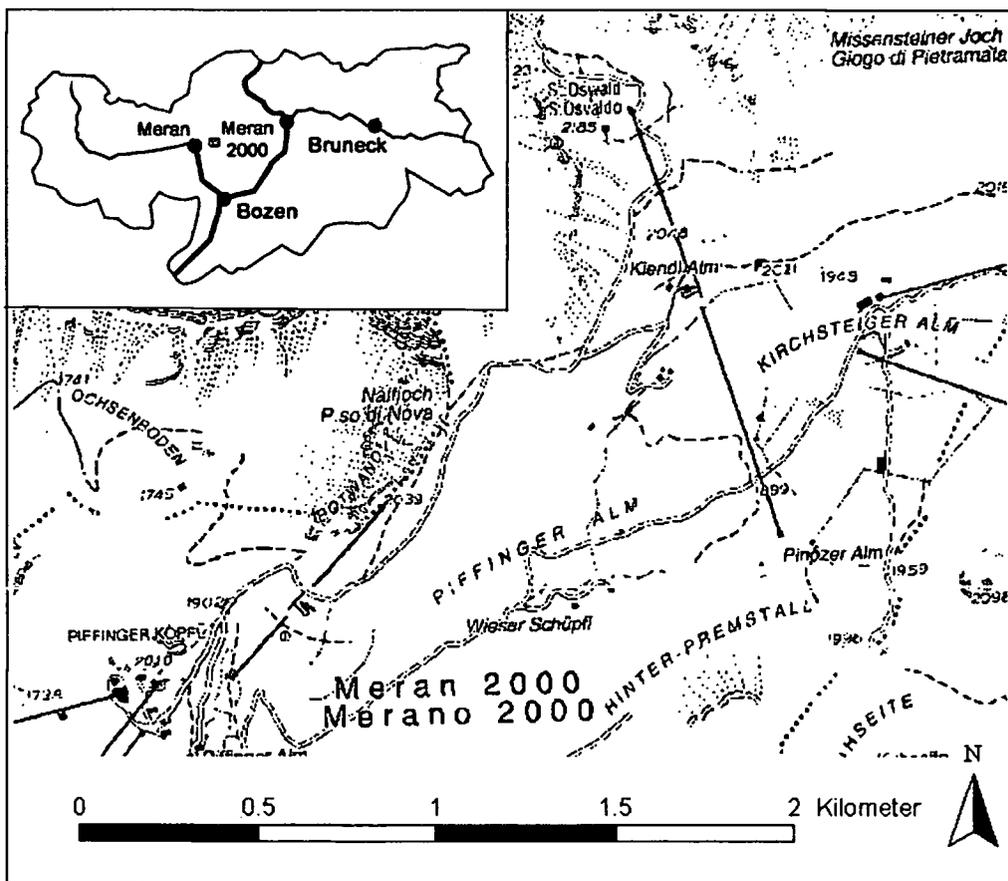


Abbildung 4: Herkunftsgebiet der für den Versuch verwendeten Samen, Schigebiet Meran 2000/Hafling

Das gesammelte Saatgut wurde anschließend bei Zimmertemperatur ein bis zwei Wochen auf Zeitungspapier zum Trocknen gelagert, dann aus den Hülsen gelöst und gereinigt. Für den Versuch waren 150 Gramm von der Ernte 2003 und 600 Gramm von der Ernte 2005 verfügbar, das entspricht etwa 150.000 Samen bei einem Tausendkorngewicht von 5 Gramm.

Ein Keimversuch wurde von Manuel Pramsohler (Versuchszentrum Laimburg) durchgeführt, um zu kontrollieren ob die Samen aus den beiden Erntejahren noch die gleiche Keimfähigkeit haben. Es wurden 100 skarifizierte Samen von 2003, 100 skarifizierte Samen von 2005, 50 nicht skarifizierte Samen von 2003 und 50 nicht skarifizierte Samen von 2005 verwendet. Die Skarifikation erfolgte mit feinem Sandpapier (mod. C. R. Schröder P100 RC 45). Die Samen wurden zwischen zwei Lagen Sandpapier leicht gerieben, bis Kratzspuren auf der Samenschale sichtbar waren. In fünf Plastikbehälter (18 cm lang, 13 cm breit, 5,8 cm hoch) wurde mit destilliertem Wasser angefeuchtetes Filterpapier eingelegt und die Samen in fünf Reihen zu 10 Samen angeordnet. Die Behälter wurden bei Raumtemperatur und Raumlicht aufbewahrt. Pramsohler stellte bei allen skarifizierten Samen nach 7 Tagen eine Keimrate von 98% bei den Samen der Ernte 2003, von 99% bei denen der Ernte 2005 und bei den nicht skarifizierten Samen eine von 5% fest. Somit konnte das Saatgut von beiden Ernten (2003 und 2005) für den Versuch verwendet werden.

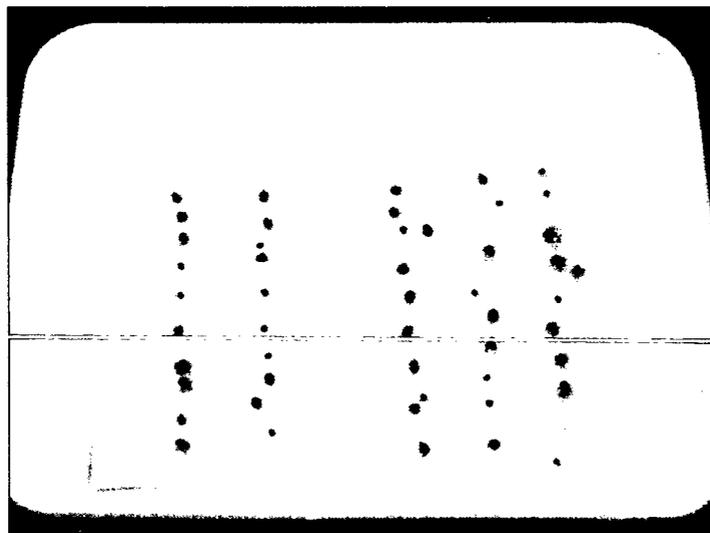


Abbildung 5: Behälter mit keimenden Samen

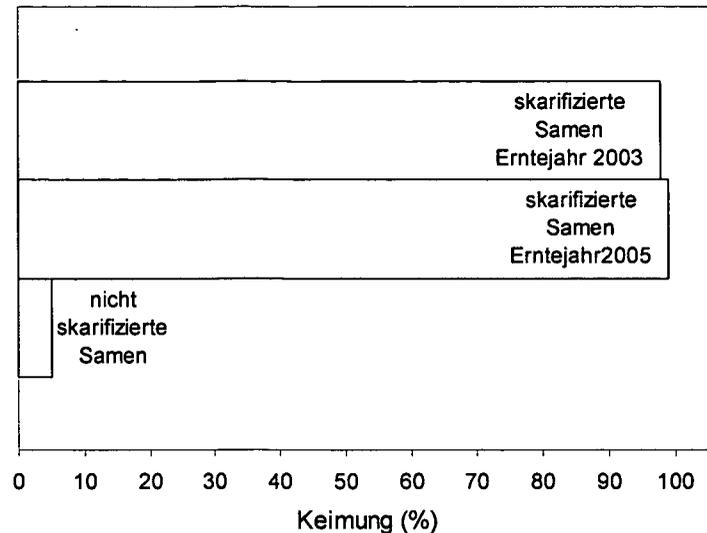


Abbildung 6: Ergebnisse des 7-tägigen Keimversuchs von Samen aus den Erntejahren 2003 und 2005, (ed. Manuel PRAMSOHLER)

Das Saatgut wurde von Manuel Pramsohler sterilisiert, um eine unkontrollierte Infizierung mit Bakterien vermeiden zu können. Die Samen wurden zuerst fünf Minuten lang in 70% Ethanol gelegt. Dann wurden sie mit destilliertem Wasser gewaschen und anschließend fünf Minuten in eine fünfprozentige Natrium-Hypochloritlösung eingelegt. Die Samen wurden abermals mit destilliertem Wasser abgewaschen. Abschließend wurden die Samen bei Raumtemperatur auf Filterpapier getrocknet.

Wie aus Arbeiten mehrerer Autoren zu entnehmen ist, keimt *Trifolium alpinum* nur nach einer Skarifikation in höherem Ausmaß. Durch die Vorbehandlung mit einem Mörser könnte die Keimschale allerdings zu stark beschädigt werden (GALLMETZER 1995). Auch die Methode die Samenschale zwischen zwei Steinplatten aufzubrechen, war in vorausgegangenen Anzuchtversuchen als nicht geeignet erkannt worden (ABRAHAM pers. Mitt. 2006). Die Skarifikation mit einer Rasierklinge (FOSSATI 1980) war für diesen Versuch nicht anzuwenden, da sie zu zeitaufwändig gewesen wäre. Außerdem scheint der Ort der Skarifikation am *Trifolium alpinum* Samen unbedeutend zu sein (WEILENMANN 1981). Die Skarifikation wird deshalb mit Sandpapier durchgeführt (FLORINETH 2004, PERATONER 2003). Die Samen werden löffelweise zwischen zwei Lagen feinem Sandpapier (mod. C. R. Schröder P100 RC 45) eingelegt, mit kreisförmigen Bewegungen und leichtem Druck gerieben, bis Kratzer in der Samenschale zu erkennen sind.

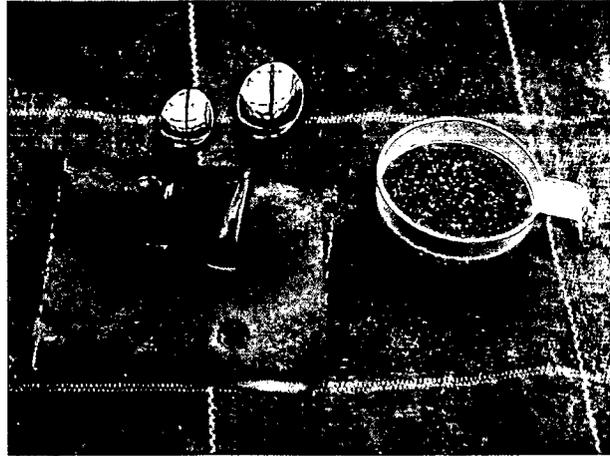


Abbildung 7: Material zum Skarifizieren (Foto: G. Peratoner)

### 3.1.1.5. Anlage des Versuchs

Für die Aussaat der Samen wurden schwarze Plastiktöpfchen (Durchmesser 5,4 cm, Höhe 17,8 cm, Vol. 280 cm<sup>3</sup>) benutzt. Vor dem Verwenden wurden sie gewaschen und 12 Stunden in eine desinfizierende Lösung (M & Euro<sup>TM</sup> TER Forte, Memb Chemie, D) eingelegt. Bevor die Töpfe mit Erde gefüllt wurden, sind sie mit Leitungswasser abgespritzt worden, um die Chemikalie abzuwaschen. Je 15 Stück wurden in eine Halterung eingeschoben, damit sie gut stehen. Jeder 15er Block stellt eine Behandlung dar.

Im Gewächshaus wurden die Erden aus Prad und Meran 2000 mit einem 6 x 6 mm (Maschenweite) Sieb gesiebt, um gröbere Steine und Wurzeln zu entfernen. Zwischen dem Siebvorgang der beiden Substrate wurde das Sieb gewaschen und mit einer desinfizierenden Lösung behandelt. Das Sieben des Kultursubstrates war nicht notwendig, da es bereits homogen war. Es wurde darauf geachtet, dass die Substrate nicht miteinander in Kontakt kommen, da befürchtet wurde, die Erde von Prad sei mit Nematoden infiziert. Die gesiebten Substrate wurden mit Plastikfolien bedeckt, um sie feucht zu halten und vor Verschmutzung zu schützen.

30 Töpfe wurden mit Kultursubstrat, 30 mit Erde von Prad, 30 mit Erde aus Meran 2000, 30 mit Kultursubstrat und einer 2 cm dicken Oberschicht aus autochthoner Erde aus Meran 2000 (Inokulum), 30 mit Erde von Prad und ebenfalls einer Schicht Inokulum gefüllt. Es wurde darauf geachtet die Erden in jedem Topf gleichmäßig anzudrücken. Damit sich die Substrate setzen können, wurden sie eingewässert.

Pro Topf wurden drei Samen von *Trifolium alpinum* eingesetzt. Mit einem Pikierstab sind immer drei fünf Millimeter tiefe Löcher eingestochen und ein skarifizierter Same in jedes Loch eingelegt worden. Der Pikierstab wurde vor der Berührung mit einem anderen Substrat desinfiziert. Um die Samen steril zu halten wurden Handschuhe verwendet. Abschließend sind die Löcher leicht mit Erde zugeschoben und die Hälfte mit Regenwasser, die andere Hälfte mit Leitungswasser gegossen worden. Jeder Topf wurde etwa zweimal wöchentlich mit ungefähr 200 Millilitern Wasser bewässert. Das Regenwasser ist mit einer Gießkanne und das Leitungswasser vorsichtig mit einer Brause ausgebracht worden.

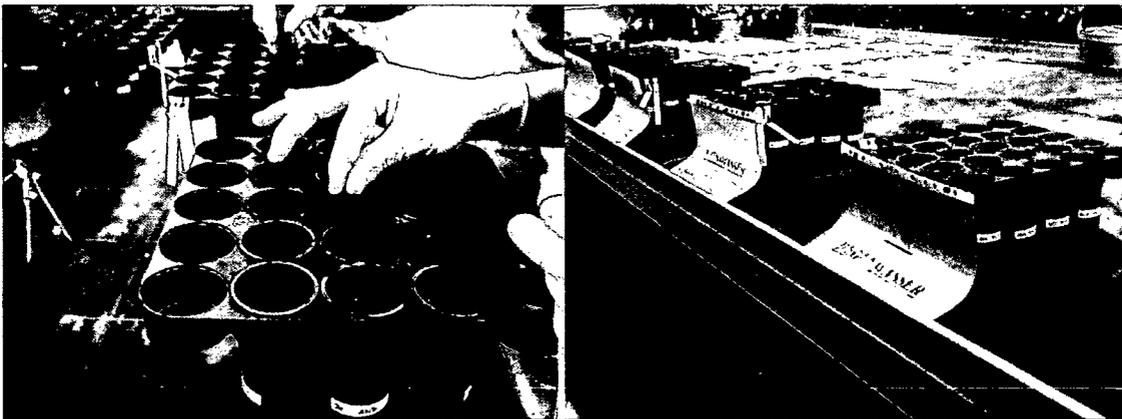


Abbildung 8: Einlegen der Samen in die Töpfe (links) und Anordnung der Behandlungen im Gewächshaus Laimburg (rechts), Februar 2006

Die 15er Blöcke wurden nach dem Substrat und der Art des Gießwassers gekennzeichnet. Abschließend wurden die 15er Blöcke auf Untersätze gestellt, um eine Übertragung von Mikroorganismen von einer Variante zur anderen durch Wasser zu vermeiden. Die Gefäße wurden zufällig am Tisch angeordnet.

27 Tage nach der Aussaat wurden die Jungpflanzen selektiert, d.h. alle Pflanzen bis auf eine pro Topf entfernt. Es wurde so selektiert, dass ein möglichst homogener Bestand erzielt wurde, d.h. die kleinsten und größten Pflanzen wurden ausgezupft, die mittleren blieben. Beim Auszupfen wurde sehr vorsichtig vorgegangen, um die verbleibende Pflanze nicht zu beschädigen. In Töpfe ohne Keimlinge wurden Pflanzen aus anderen Töpfen einpikiert.

Die Behandlungen mit Erde aus dem Forstgarten Prettau und die Kontrollvarianten aus Erde Meran 2000 wurden im Juni nach oben beschriebener Vorgangsweise erstellt. Die Aussaat erfolgte am 02.06.2006.

### 3.1.2. Versuchsauswertung

#### 3.1.2.1. Erfassung von Wachstumsparametern

In den ersten zwei Wochen wurde die Anzahl der lebenden und abgestorbenen Keimlinge gezählt. Die Zählungen erfolgten alle 2-3 Tage. Das Alter der Pflanzen einer Behandlung wurde ab dem Tag gerechnet, wo mindestens 26 Keimlinge, von den insgesamt ca. 45 ausgebrachten Samen, sichtbar waren.

Nach dem Einzelstellen der Pflanzen, d.h. nach dem Entfernen von Konkurrenzkeimlingen im selbem Topf, wurden folgende Parameter für jede lebende Pflanze pro Variante erhoben:

- Anzahl der grünen Laubblätter: 1 = dreifedriges Laubblatt voll entfaltet, Blattstiel sichtbar; 0,5 = dreifedriges Laubblatt ist mehr als die Hälfte sichtbar, 3 Fiederblätter erkennbar, Blattstiel nicht sichtbar (Abbildung 9)



Abbildung 9: Unterschied zwischen Jungpflanze mit grünen Blättern 3,5 Wochen alt (links) und gelben Blättern 5 Wochen alt (rechts), Gewächshaus Laimburg 2006

- Anzahl der gelben Laubblätter: gelb = eine deutliche Gelbfärbung ist zu erkennen
- Anzahl der abgestorbenen Laubblätter: abgestorben = vertrocknetes Blatt

- Abgestorbene Pflanzen: Pflanze gilt als abgestorben, wenn keine grünen und gelben Laubblätter, sondern nur mehr abgestorbene Laubblätter vorhanden sind
- Anzahl der oberirdischen Triebe
- Maximale Höhe der Pflanze: Gemessen wurde von der Substratoberfläche (Austritt der Pflanze aus der Erde) bis zur Spitze des höchsten Laubblattes.

Obenangeführte Parameter wurden im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen vorgenommen. Bei den Behandlungen mit der Erde Prettau und den dazugehörigen Kontrollvarianaten wurden die Messungen im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen durchgeführt. Diese Parameter werden zur Beschreibung des Wachstumsverlaufs erhoben. Da das Trockengewicht erst am Ende des Versuchs bestimmt wird, sind dies geeignete Parameter, um das Wachstum zu analysieren, ohne die Pflanze zu beeinträchtigen (TREMP 2005).

Drei Pflanzen pro Behandlung sind für eine Nematodenuntersuchung zurückbehalten worden. Leider kam eine Untersuchung auf Nematoden in den Pflanzen nicht zustande. So wurden nach der Ernte für 12 Pflanzen statt 15 pro Variante folgende Parameter bestimmt:

- Trockengewicht vom Spross
- Trockengewicht von der Wurzel

Bei jungen und kleinen Pflanzen eignet sich die Trockengewichtsbestimmung für die Bestimmung der Biomasse besser als die Volumenbestimmung durch verdrängtes Wasservolumen, weil das Wägen kleiner Mengen genauer ist, als die Messung der Veränderung des Wasservolumens (GALLMETZER 1995).



Abbildung 10: Getrocknete *Trifolium alpinum* – Pflanze, geteilt in ober- und unterirdische Biomasse, Versuchszentrum Laimburg, Juni 2006

Die Ernte der bis zum Juli herangewachsenen Pflanzen fand im Pflanzenalter von 108 Tagen statt, da eine allgemeine Verschlechterung des Zustands der Pflanzen eingetreten war. Die Varianten der Erde Prettau wurden im Alter von 118 Tagen geerntet. Mit Hilfe einer Brause wurden die Wurzeln von der Erde freigespült und abgebrochene Pflanzenteile durch ein Sieb aufgefangen. Anschließend sind die Pflanzen im Trockenschrank bei 60 °C 22 Stunden lang getrocknet worden. Das Trockengewicht der Wurzel und der oberirdischen Pflanzenteile wurde gewogen. Die Wurzel ist von den oberirdischen Teilen abgetrennt worden (Abbildung 10). Von frühzeitig abgestorbenen Pflanzen wurde ebenfalls das Trockengewicht bestimmt.

Mittels Trockengewicht von Wurzel und Spross wurde der Prozentanteil von Wurzel- und Sprossbiomasse am Gesamtgewicht bestimmt.

### 3.1.2.2. Rhizobienuntersuchung

Es wurde untersucht, ob die Zugabe von Erde aus dem Herkunftsgebiet der Saatgutes Meran 2000 ausschlaggebend für eine Infektion durch Rhizobien und Ausbildung von Wurzelknöllchen ist bzw. ob die Anzahl der Bakterien durch die Zugabe des Inokulums erhöht werden kann.

12 Pflanzen pro Variante wurden auf das Vorkommen von Wurzelknöllchen untersucht und deren Anzahl bestimmt. Sind Knöllchen vorhanden, hat eine Infektion durch Knöllchenbakterien stattgefunden (ALEXANDER 1984). Die Anzahl der Knöllchen sagt aus, wie stark eine Kolonisierung durch Rhizobien stattgefunden hat.

### 3.1.2.3. Statistische Auswertung

Um die Entwicklungsstadien der Pflanzen darzustellen, wurden die Parameter Höhe der Pflanzen, Anzahl der grünen und abgestorbenen bzw. vergilbten Blätter und die Anzahl der oberirdischen Triebe verwendet. Die Veränderung der Pflanzenhöhe im Wachstumszeitraum wird durch die mittlere relative Wachstumsrate (Formel 1 und 2) veranschaulicht (TREMP 2005). Die Anzahl der oberirdischen Triebe, die grünen und abgestorbenen bzw. vergilbten Blätter werden durch mittlere absolute Werte angegeben.

$$H_2 = H_1 e^{RWR(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

$$RWR(cm \times cm^{-1} \times t^{-1}) = \frac{\ln H_2 - \ln H_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Die Auswirkungen der Faktoren Substrat, Inokulum und Gießwasser auf die Entwicklung der *Trifolium alpinum* Pflanzen wurden durch eine mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA, analysis of variances) geprüft. Dabei erfolgt eine Zerlegung der Gesamtvariabilität der Messdaten in die einzelnen Streuungskomponenten, die durch die Faktoren verursacht werden (KÖHLER et al. 1996). Es kann damit auch geprüft werden, ob Wechselwirkungen zwischen den Faktoren auf die Pflanzenentwicklung vorliegen (KÖHLER et al. 1996). Das Signifikanzlevel wurde mit  $p < 0,05$  festgelegt.

Als erster Schritt wurde der Datensatz auf die Voraussetzungen der Varianzanalyse getestet. Die Normalverteilung wurde anhand des Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft (KÖHLER et al. 1996). Der Test hat gezeigt, dass einige der verwendeten Daten nicht normalverteilt sind. Um die Varianzhomogenität zu bestimmen wurde der Levene's Test durchgeführt. Auch diese Voraussetzung war zum Teil nicht gegeben.

Ein beratendes Gespräch mit Univ. Ass. Dipl.-Ing. Bernhard Spangl vom Institut für angewandte Statistik und EDV der BOKU wurde bezüglich der nicht erfüllten Voraussetzungen der Normalverteilung und Varianzhomogenität geführt. Kann keine Normalverteilung und Varianzhomogenität durch Transformation erreicht werden, ist es nach Spangl in der Praxis trotzdem zulässig, eine Varianzanalyse zu rechnen.

Um die Normalverteilung und Varianzhomogenität zu verbessern wurden eine Logarithmus- und eine Wurzeltransformation vorgenommen. Durch eine Logarithmustransformation der Trockengewichtsdaten der ersten Versuchsserie konnten die Voraussetzungen für die Varianzanalyse noch nicht zufrieden stellend verbessert werden, eine Wurzeltransformation führte jedoch zu einer Verbesserung der Normalverteilung. Die Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov Tests für die Residue des Gesamttrockengewichts konnte von 0,024 auf 0,646 erhöht werden. Die Varianzhomogenität konnte leider nicht verbessert werden. Der Signifikanzwert liegt für den Levene's Test nach einer Wurzeltransformation noch immer bei 0,000.

Die mehrfaktorielle Varianzanalyse für die Varianten mit Erde Prettau und den Kontrollvarianten mit Erde Meran 2000 wurde getrennt von den Behandlungen der ersten Versuchsserie gerechnet, weil sie aufgrund anderer Wachstumsbedingungen der Jahreszeit und eines anderen Wachstumszeitraums von 118 Tagen nicht direkt verglichen werden können. Die ANOVA wurde ohne die Stichproben der Kontrollvarianten durchgeführt, da in der Behandlung MR nur 10 Pflanzen bis zum Erntezeitpunkt überlebt hatten und eine Stichprobe von 12 Pflanzen erwünscht ist. Auch der Datensatz der zweiten Versuchsserie verletzte die Voraussetzungen für eine Varianzanalyse und Transformationen waren notwendig. Diesmal brachte eine Logarithmustransformation eine größere Verbesserung der Daten als eine Wurzeltransformation. Wiederum konnte die Varianzhomogenität nur minimal verbessert werden. Der Signifikanzwert nach Levene's konnte von 0,000 lediglich auf 0,003 erhöht werden. Des Kolmogorov-Smirnov Test erbrachte einen Signifikanzwert von 0,922.

Durch eine Korrelationsanalyse wird die Stärke des Zusammenhangs (TREMP 2005) zwischen dem Sprosstrockengewicht und der Pflanzenhöhe bzw. der Anzahl oberirdischer Triebe veranschaulicht. Da leider die Längenmessungen einiger Varianten fehlen, werden für diese Analyse nur ein Teil der Varianten der ersten Versuchsreihe und alle Varianten aus der zweiten verwendet. Das Signifikanzlevel wurde mit  $p < 0,01$  festgelegt.

Für die statistischen Analysen wurde das Statistikprogramm SPSS 12.0 verwendet.

## **3.2. Ergebnisse**

### **3.2.1. Pflanzenentwicklung**

Die ersten Keimlinge waren bereits zwei Tage nach der Aussaat im Februar 2006 in der Variante Kultursubstrat ohne Erde Meran 2000 mit Regenwasser zu beobachten. Fünf Tage nach der Aussaat waren schon bis zu 64% der Keimlinge in der Erde Meran 2000 mit Regenwasser sichtbar. Die Behandlungen PJR, PJJ, ML, KNR, KJL KNL und KJR konnten am fünften Tag eine Keimlingszahl zwischen 42% und 60% verzeichnen. Die Keimlingszahl der Variante PNR nahm bis zum achten Tag rapide zu. Bei KNL und KNR hingegen trat eine Stagnation ein. Alle übrigen Behandlungen nahmen in ihrer

Keimlingszahl stetig zu. Am 18. Tag nach der Aussaat konnten Prozentsätze von 58% bei PNL bis 82% bei KJR verzeichnet werden (Abbildung 11).

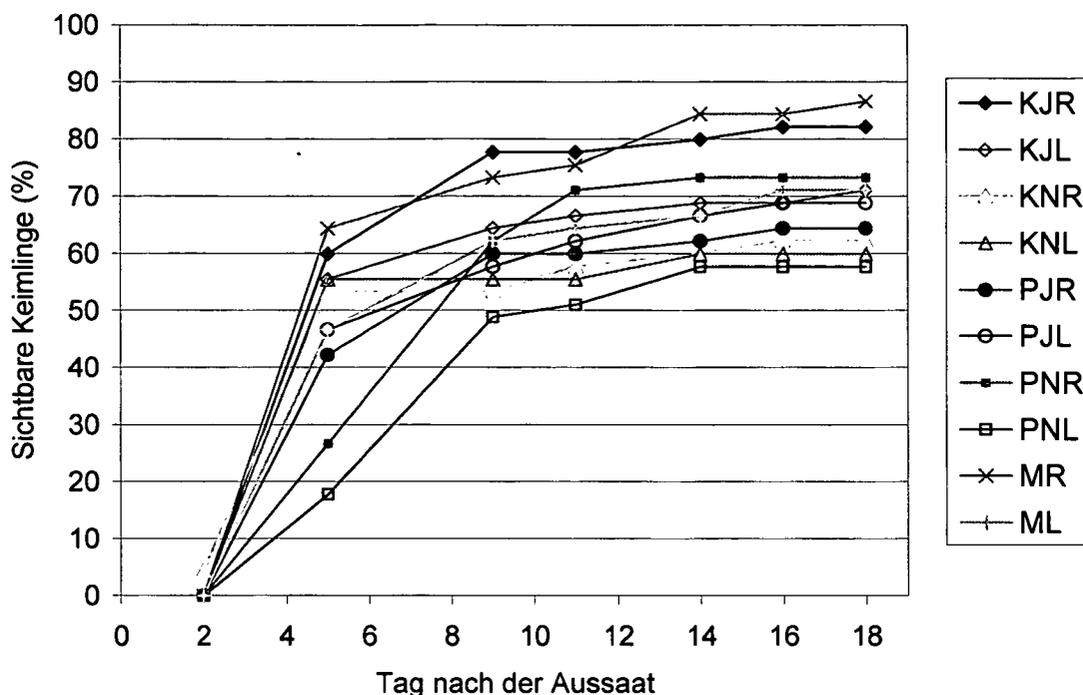


Abbildung 11: Keimungsverlauf der zehn Behandlungen über 18 Tage im Gewächshaus Laimburg, Februar/März 2006, 100% = 45 Keimlinge

Bis zu 27 Tagen nach der Aussaat, dem Zeitpunkt, wo die Pflanzen vereinzelt wurden, war die Anzahl der Keimlinge in allen Varianten weiter angestiegen und nur 5 Pflanzen mussten in Töpfe ohne Jungpflanze eingepikiert werden.

Ein bis zwei Tage nach Sichtbarwerden des Keimlings waren die Keimblätter voll entfaltet. Das Primärblatt konnte bei den meisten Pflanzen etwa vier Tage nach den Keimblättern als vollständig beobachtet werden. Im Pflanzenalter von ca. 12 Tagen war durchschnittlich das erste dreiteilige Laubblatt ausgebildet und Ansätze eines folgenden zu erkennen (Abbildung 12). Bis auf einige Pflanzen in der Erde Prad hatten sich alle Pflanzen bis zum Pflanzenalter von 23 Tagen sehr schön entwickelt. Beim Selektieren der Pflanzen wurden bei einigen Pflanzen der Variante PNR braune Wurzelverfärbungen festgestellt (Abbildung 12). Auch leicht chlorotische Verfärbungen einzelner Laub- und Keimblätter wurden in den Behandlungen mit Erde Prad beobachtet.

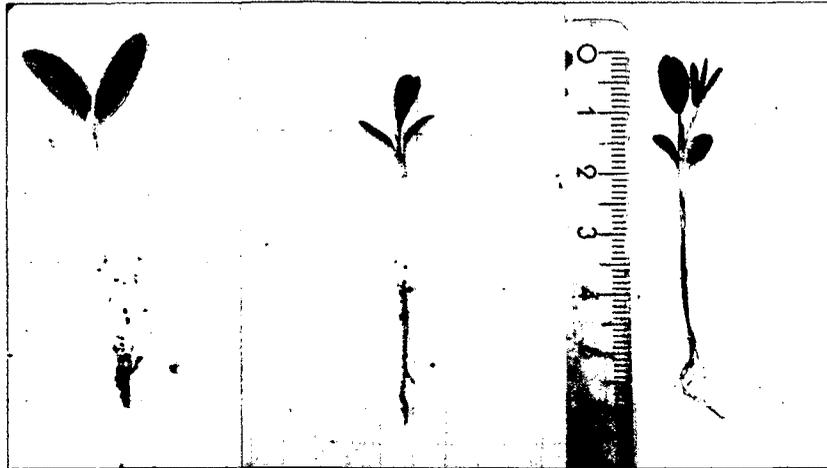


Abbildung 12: Entwicklungsstadien von *Trifolium alpinum*: Keimblätter, Primärblatt, dreizähliges Laubblatt, sowie Wurzelverfärbung an einer Pflanze aus der Erde Prad, Gewächshaus Laimburg 2006

Im Pflanzenalter von 23 Tagen hatten die Varianten MR und ML eine mittlere Anzahl von grünen Laubblättern von 1,5. In einem fortgeschrittenerem Wachstumsstadium von über 1,5 bis 2 Laubblätter befanden sich die Behandlungen PNR, P JL, PJR, KJR und PNL. Mehr als 2 Laubblätter waren bei den Varianten KJL, KNR und KNL zu beobachten (Abbildung 13).

Beim Großteil der Pflanzen in allen Bodensubstraten waren im Pflanzenalter von 43 Tagen die Keimblätter und das Primärblatt abgestorben. Bei einigen Pflanzen aus den Varianten KNL, PNR und PNL wurden bereits einzelne Laubblätter gelb oder waren schon abgestorben. Ab diesem Zeitpunkt nahm bei allen Pflanzen die Anzahl der gelben und abgestorbenen Laubblätter zu (Abbildung 14). MR und ML hatten in diesem Zeitraum besonders wenig Zuwachs an Blattsubstanz, was sie aber ab dem 66. Tag stark aufholten. Je zwei Pflanzen aus den Varianten PNR und PNL waren am 66. Tag abgestorben. Die Pflanzen im Kultursubstrat ohne Inokulum gegossen mit Leitungswasser hatten ab dem Alter von 66 Tagen kaum Zuwachs an Laubblättern, bis schließlich nach dem 85. Tag mehr Blätter abstarben als nachwuchsen. Bei allen Varianten, außer denen mit Erde aus Meran 2000 (MR) nahm die Anzahl der grünen Laubblätter bis zum Erntezeitpunkt ab (Abbildung 13). Bei den meisten Varianten wurden gleich viel oder mehr tote Blätter als lebende gezählt.

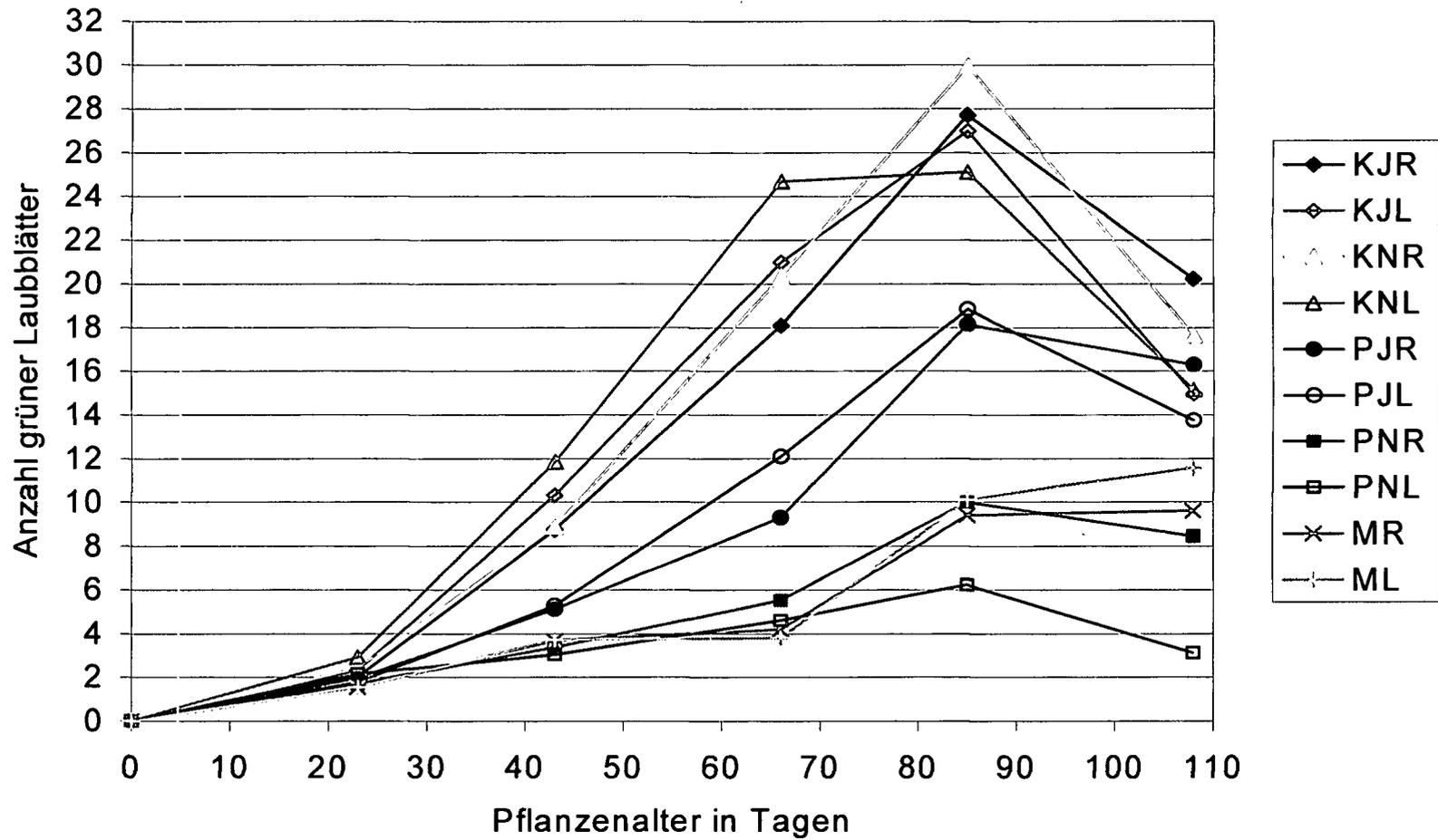


Abbildung 13: Mittlere Anzahl der grünen Laubblätter pro Behandlung, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen in der Laimburg von März bis Juni 2006, n=15, außer PNR und PNL ab dem 66. Tag n=13

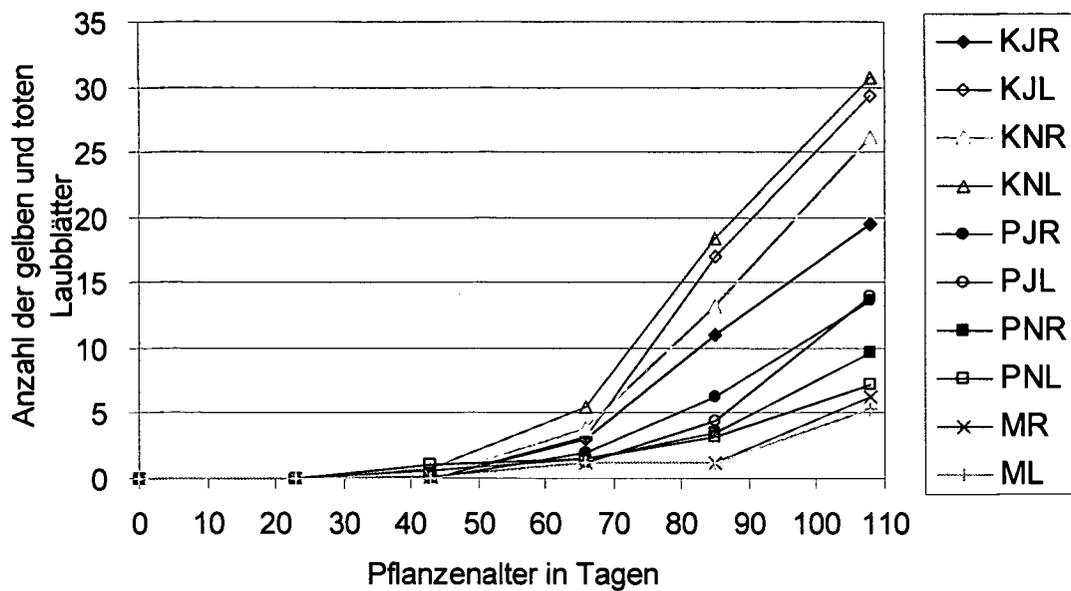


Abbildung 14: Mittlere Anzahl der toten und gelben Laubblätter pro Behandlung, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen in der Laimburg von März bis Juni 2006, n=15, außer PNR und PNL ab dem 66. Tag n=13

Die Teilung des Sprosses in mehrere Triebe ist Zeichen für das Fortschreiten im Entwicklungsstadium der Pflanze (HASLER 1992). Erreichten die Pflanzen eine Blattanzahl von mehr als fünf Blättern, kam es zu einer Teilung des Sprosses in Triebbündel. Die mittleren Entwicklungsstadien der Varianten waren sehr unterschiedlich (Abbildung 15). Die Varianten mit Kultursubstrat, welche auch das stärkste Blattwachstum erzielten, bildeten am frühesten mehrere Triebe aus. Die meisten Pflanzen der Variante PNL kamen nicht über die Entwicklung von einem Trieb hinaus. MR und ML konnten bis zum 108 Tag Pflanzen mit zwei Trieben hervorbringen. Die Behandlung PNR konnte einen mittleren gerundeten Wert von drei Trieben verzeichnen. Die Pflanzen aus PJR und PJL bildeten bis zum Erntezeitpunkt zwischen vier und fünf Triebe aus. Die höchste Anzahl erreichten die Pflanzen im Kultursubstrat, wo sich die Sprosse in sechs oder mehr Triebe teilten. Aufgrund des vermehrten Absterbens der Blätter ab dem 85. Tag kamen kaum neue Triebe dazu.

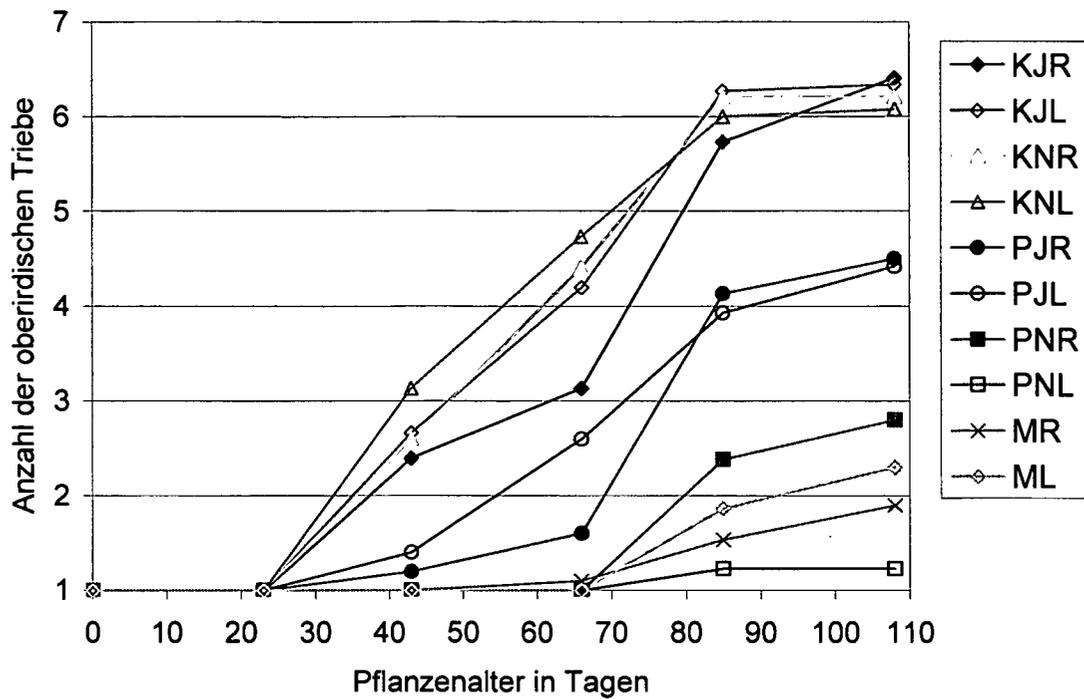


Abbildung 15: Mittlere Anzahl der oberirdischen Triebe pro Variante, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen in der Laimburg von März bis Juni 2006, n=15, außer PNR und PNL ab dem 66. Tag n=13

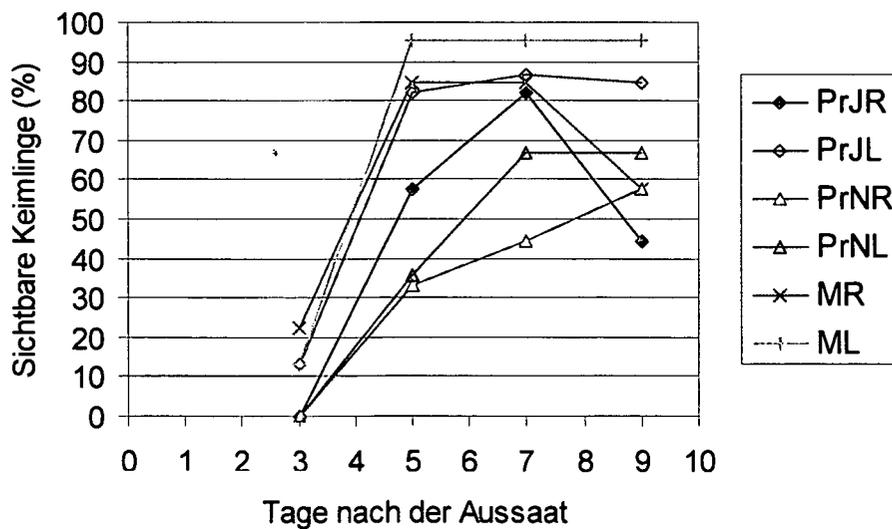


Abbildung 16: Keimungsverlauf der zehn Behandlungen über 9 Tage in der Laimburg im Juni 2006, 100% = 45 Keimlinge

Die Keimung der im Juni angesäten Pflanzen erfolgte für die Samen in den Behandlungen ML, MR und PrJL explosionsartig (Abbildung 16). Schon am dem 5. Tag nach der Keimung waren bei diesen Varianten über 80% gekeimt. Auch die

Variante PrJR hatte zu diesem Zeitpunkt bereits 58% sichtbare Keimlinge und das Pflanzenalter konnte ab da an gezählt werden. Bis zum 9. Tag nach der Aussaat konnten auch die Varianten PrNL und PrNR 26 oder mehr sichtbare Keimlinge hervorbringen. In den Varianten PrJR und MR kam es allerdings zu einem starken Absterben bis zum 9. Tag nach der Aussaat. 17 Keimlinge waren in PrJR und 12 in MR abgestorben. Deshalb war es notwendig in 25 Töpfen Jungpflanzen zu pikieren. Selektiert und pikiert wurde 22 Tage nach der Aussaat.

Die Anzahl der grünen Laubblätter nahm bei den über dem Sommer herangewachsenen Pflanzen stetig zu. Im Pflanzenalter von 118 Tagen waren bei den Pflanzen in der Variante PrJR durchschnittlich 15 Blätter ausgetrieben, in PrJL im Durchschnitt 13 (Abbildung 11). Die Pflanzen in der Erde Prettau ohne Inokulum erreichten eine mittlere Blattanzahl von 8. Die Kontrollvarianten MR und ML unterschieden sich sehr stark. Die Pflanzen der Behandlung ML bildeten bis zum Erntezeitpunkt im Durchschnitt über 10 Blätter aus, was in den Bereich von den Behandlungen Erde Meran 2000 vom Frühjahr kommt. Die Pflanzen in der Variante MR entwickelten sich recht kümmerlich. Bis zur Ernte waren fünf Pflanzen abgestorben.

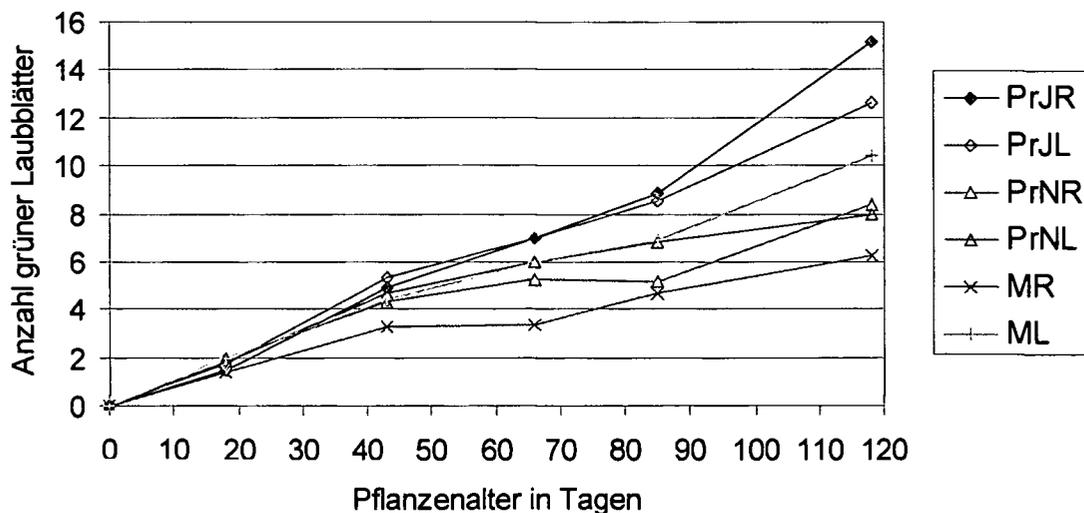


Abbildung 17: Mittlere Anzahl der grünen Laubblätter pro Behandlung, Wachstum über 118 Tage, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen in der Laimburg von Juni bis Oktober 2006, n=15, außer PrNL 66 Tage n=13 und ab 85 Tage n=12, ML ab 85 Tage n=14, MR 85 Tage n=11 118 Tage n=10

Die Anzahl der toten und gelben Blätter nahm mit fortschreitendem Alter der Pflanzen aus allen Varianten mit Erde Prettau und den Kontrollvarianten zu, wie auch am Wachstum der ersten Versuchsreihe beobachtet wurde (Abbildung 18). Allerdings überstieg die Anzahl der toten Blätter nicht die Anzahl der lebenden und es kam nicht wie beim Großteil der Behandlungen aus der ersten Versuchsreihe zu einem Abfall der oberirdisch produzierten Biomasse. PrNL und MR verzeichneten im Verhältnis zu den grünen Blättern das größte Absterben an Laubblättern.

Die Varianten mit Inokulum konnten im Durchschnitt drei oder mehr Triebe ausbilden. Der Großteil der Pflanzen in den Töpfen ohne Zusatz von Meran 2000 bildete nur einen oberirdischen Trieb aus. Keine Pflanze aus der Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser konnte eine Triebteilung erreichen (Abbildung 19).

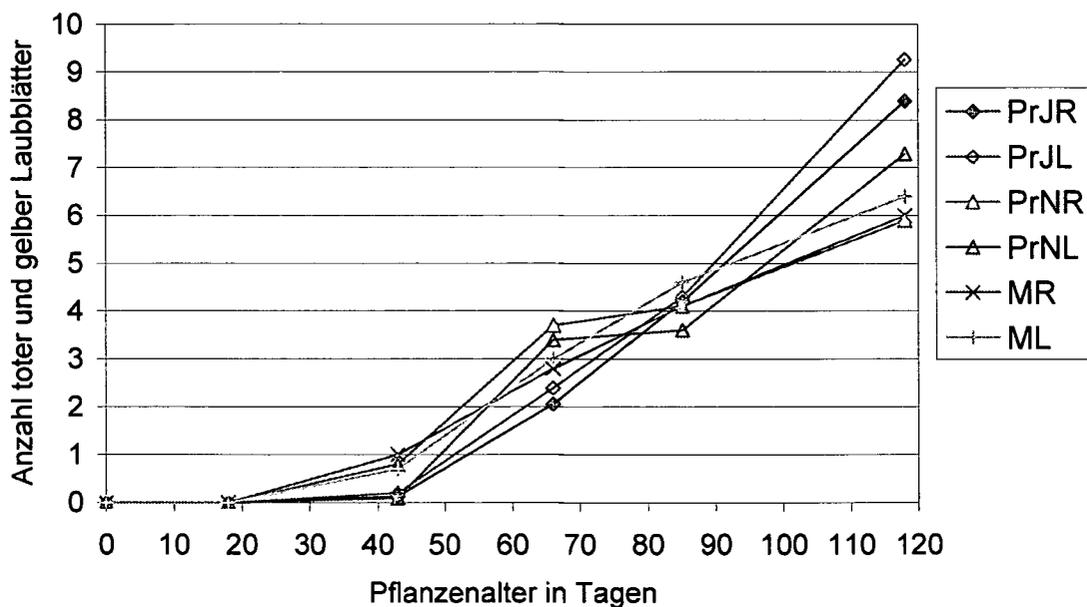


Abbildung 18: Mittlere Anzahl der toten und gelben Laubblätter pro Behandlung, Wachstum über 108 Tage, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen in der Laimburg von Juni bis Oktober 2006, n=15, außer PrNL 66 Tage n=13 und ab 85 Tage n=12, ML ab 85 Tage n=14, MR 85 Tage n=11 118 Tage n=10

Ein weiterer Parameter um das Wachstum der Pflanzen zu beschreiben ist deren maximale Höhe. Die Höhe sagt etwas darüber aus, wie groß die Blätter einer Pflanze heranwachsen, nicht aber über das Fortschreiten des Entwicklungsstadiums der krautigen Pflanze *Trifolium alpinum*.

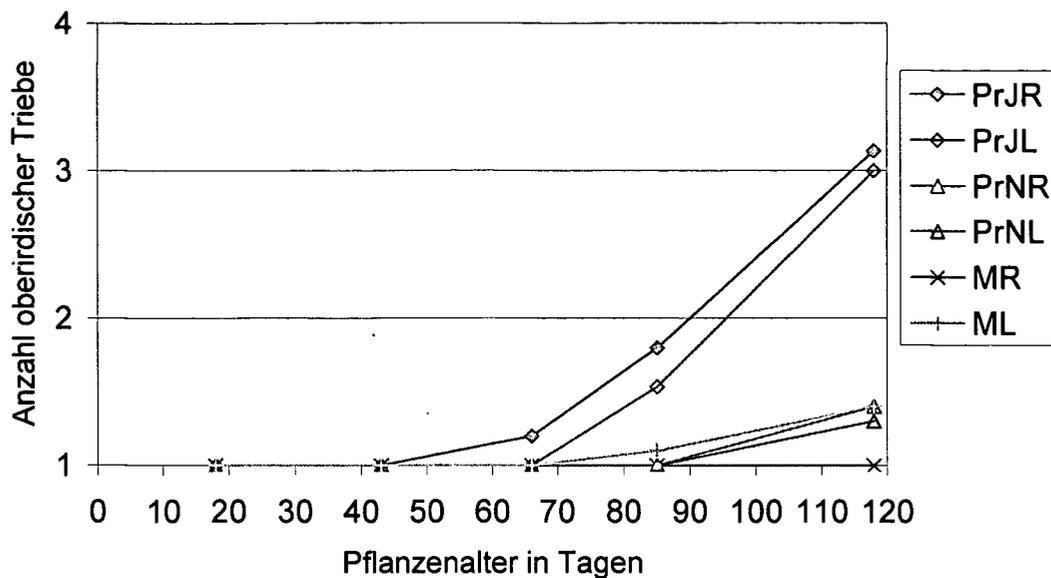


Abbildung 19: Mittlere Anzahl der oberirdischen Triebe pro Variante, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen in der Laimburg von Juni bis Oktober 2006, n=15, außer PrNL 66 Tage n=13 und ab 85 Tage n=12, ML ab 85 Tage n=14, MR 85 Tage n=11 118 Tage n=10

So kann eine Pflanze zum Beispiel wenig Blätter und nur einen Trieb ausgebildet haben, aber hohe Laubblätter besitzen. Eine andere Pflanze hingegen besitzt zum Beispiel sehr viele kleine niedere Blätter und mehrere Triebe, erreicht aber trotz höherem Entwicklungsstadium eine geringere Höhe. In Kombination mit anderen Wachstumsparametern betrachtet, kann die Höhe trotzdem den Wachstumszustand beschreiben. Abbildung 20 und Abbildung 21 veranschaulichen die mittlere relative Zunahme der Höhe (RZH) von einer Aufnahme zur anderen. Nimmt der RZH-Wert von einem Zeitintervall zum anderen ab, so bedeutet dies, dass das exponentielle Wachstum nicht mehr dem von der vorhergegangenen Messung folgt, sondern sich der Wachstumstrend verringert hat. Bei einem RZH-Wert von Null folgt die Zunahme der Höhe dem exponentiellen Zuwachs. Nimmt der Wert zu, so wird eine höhere Wachstumsrate im Vergleich zur vorhergegangenen Aufnahme erreicht.

Bis zum Alter von 23 Tagen nahm das Längenwachstum der Pflanzen aus allen im Februar erstellten Varianten stetig zu. Die höchsten Pflanzen waren in den Behandlungen mit Kultursubstrat zu beobachten, gefolgt von jenen in der Erde Prad und Erde Meran 2000. Ab dem 23. Tag nahm die Höhe der Pflanzen sehr wenig zu, in erster Linie investierten die Pflanzen in den Austrieb neuer Blätter und in die horizontale

Ausbreitung durch Triebe. Die Pflanzen in der Erde Meran 2000 nahmen durchschnittlich gar nicht an Länge zu. Im Zeitraum vom 43. bis zum 66. Tag wurde bei allen Varianten außer bei KNL und PNR eine geringere mittlere Höhe gemessen als vor der zweiten Aufnahme, was auf das Absterben der ältesten Laubblätter zurückzuführen ist. Es ergeben sich negative relative Wachstumsraten (Abbildung 20). Ab dem 66. Tag nahm die mittlere Höhe der Pflanzen aus den Varianten mit Kultursubstrat stark zu. Im Pflanzenalter von 85 Tagen konnten bei diesen Varianten Längen zwischen sieben und acht Zentimeter gemessen werden. Auch die Varianten PJR und PJJ wuchsen ab dem 66. Tag stetig in die Länge. Die Pflanzen in der Erde Meran 2000 und in PNR hatten erst ab dem Alter von 85 Tagen begonnen deutlich an Höhe zuzunehmen. Lediglich die Pflanzen der Variante PNL konnten bis zum Erntezeitpunkt im Durchschnitt nicht höher als 3,7 cm wachsen. Besonders an Höhe dazu gewonnen hatte die Behandlung MR, welche einen mittleren Wert von 6,8 cm erreichte. Die höchsten Pflanzen wuchsen im Kultursubstrat mit Erde Meran 2000 und Regenwasser (KJR) heran, bei denen die mittlere Höhe 12,4 cm betrug.

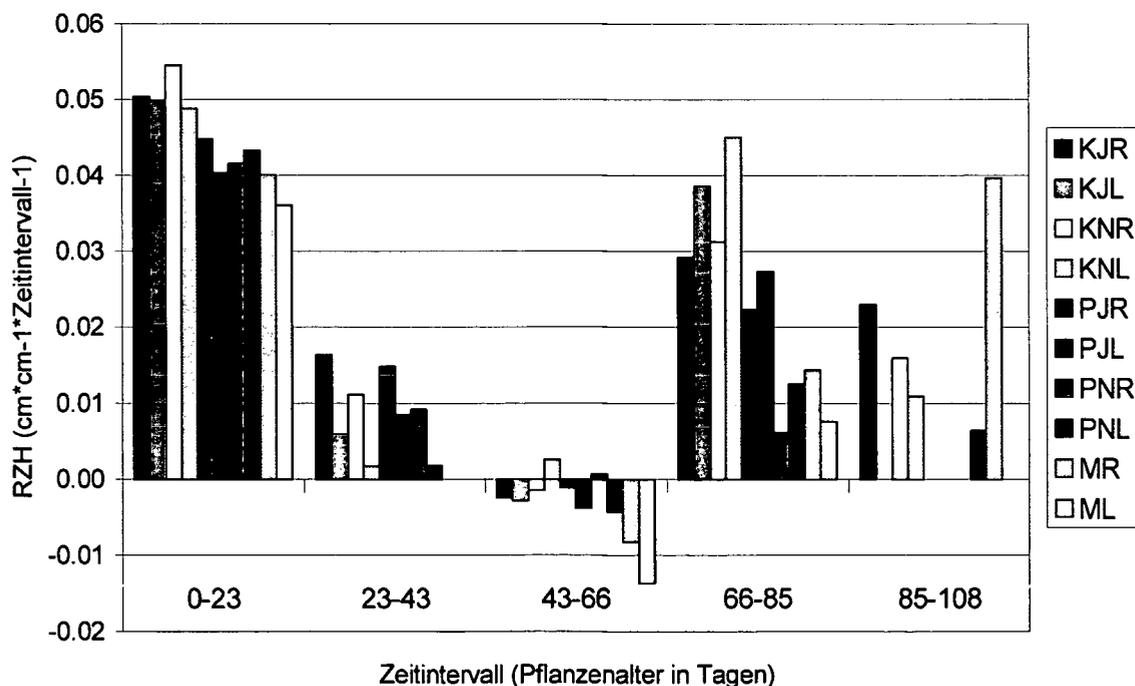


Abbildung 20: Mittlere relative Zuwachs an Höhe (RZH) pro Behandlung, Messungen erfolgten im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen in der Laimburg von März bis Juni 2006, n=15, außer PNR und PNL ab dem 66. Tag n=13

Das Höhenwachstum der Pflanzen in der Erde Prettau ohne Inokulum erreichten bereits im Pflanzenalter von 43 Tagen ihre höchste Ausdehnung und verzeichneten in den folgenden Wochen ein Abnehmen an Höhe, was in Zusammenhang mit dem Absterben an Laubblättern steht. Einen besonders starken Rückgang (Mittelwert) von mehr als einem Zentimeter wurde vom 43. zum 66. Tag bei der Variante MR gemessen. Die Varianten PrJR und PrJL waren im Alter von 85 Tagen am höchsten. Die mittleren relativen Wachstumsraten zeigen, dass die Pflanzen anfangs in das Höhenwachstum investiert haben, später aber das Ausbilden von Blättern und Trieben im Vordergrund stand (Abbildung 21). Die Höhen dieser Varianten liegen zum Großteil unter denen der Varianten mit Kultursubstrat, Erde Prad und Meran 2000 der ersten Versuchsreihe.

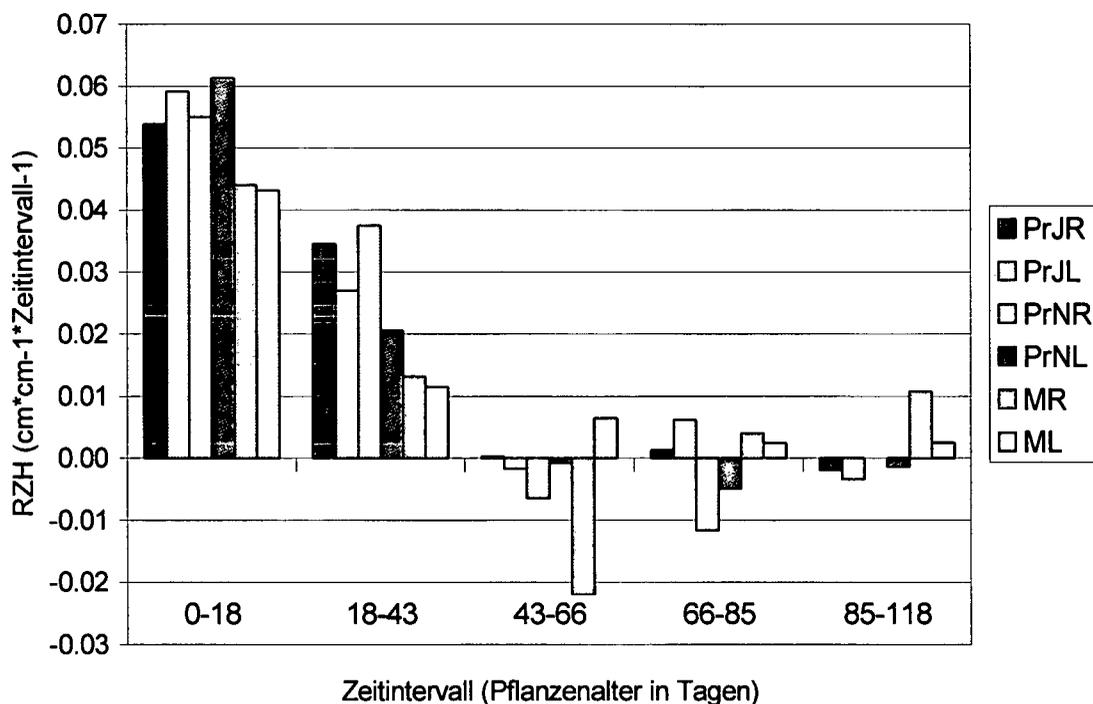


Abbildung 21: Mittlere relativer Zuwachs an Höhe (RZH) pro Behandlung, Messungen erfolgten im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen in der Laimburg von Juni bis Oktober 2006, n=15, außer PrNL 66 Tage n=13 und ab 85 Tage n=12, ML ab 85 Tage n=14, MR 85 Tage n=11 118 Tage n=10

### 3.2.2. Biomasse zum Erntezeitpunkt

Alle drei Faktoren Substrat, Inokulum Erde Meran 2000 und Gießwasser und die Wechselwirkung Substrat mit Inokulum hatten signifikante Auswirkungen auf das Trockengewicht (Tabelle 6). Deutliche unterscheiden sich die Trockengewichtsmittelwerte der Varianten mit Kultursubstrat von den übrigen

Varianten (Abbildung 22). Die Variante KJR erreichte ein mittleres Trockengewicht von über einem Gramm. Das zweithöchste Gewicht erreichten die Pflanzen in KNR mit 0,91 Gramm, gefolgt von jenen in KNL mit 0,8 Gramm. Wenig darunter liegt der mittlere Trockengewichtswert von KJL mit 0,74 Gramm. Das mittlere Trockengewicht für PJR beträgt 0,53 Gramm, jenes von PJL 0,36 Gramm. Minimale mittlere Gewichtunterschiede wurden zwischen den Varianten PNR und MR festgestellt, deren Gewicht 0,185 Gramm und 0,17 Gramm beträgt. Auch ML und PNL unterscheiden sich nur leicht. Sie verzeichnen die niedersten Werte von 0,13 Gramm und lediglich 0,073 Gramm. Der Zusatz von Originalboden aus Meran 2000 bewirkte höheres Trockenmassegewicht nur in Kombination mit dem Substrat Prad.

Tabelle 6: Effekte von Substrat, Inokulum und Gießwasser auf die Trockenmasse von *Trifolium alpinum* – Pflanzen aus den Behandlungen KJR, KJL, KNR, KNL, PJR, PJL, PNR, PNL, MR und ML im Pflanzenalter von 108 Tagen, Laimburg, Juni 2006 (ANOVA, n=12, p < 0,05)

Faktor	df	F	Sig.
Substrat	2	214,560	0,000
Inokulum Erde Meran 2000	1	43,514	0,000
Gießwasser	1	17,758	0,000
Substrat * Inokulum	1	31,865	0,000
Substrat * Gießwasser	2	0,983	0,377
Inokulum * Gießwasser	1	0,639	0,426
Substrat * Inokulum * Gießwasser	1	1,442	0,232

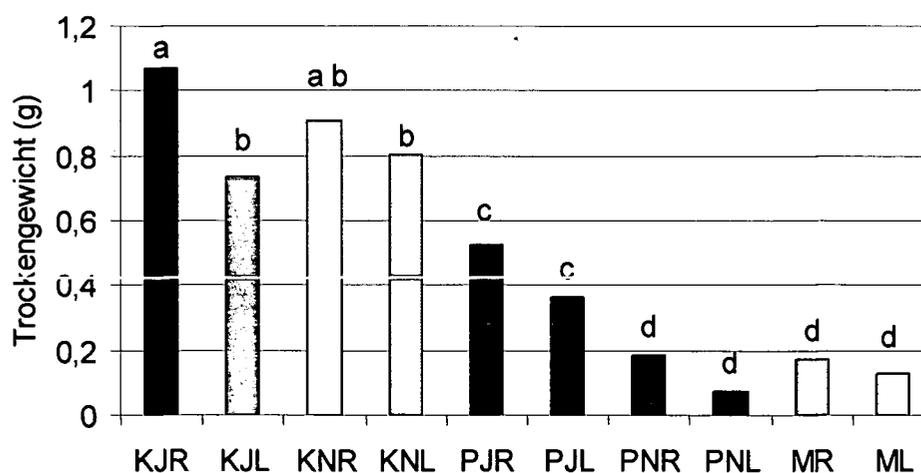


Abbildung 22: Mittleres Trockengewicht der einzelnen Behandlungen der Aussaat vom Februar, Laimburg, Juni 2006. Gleiche Buchstaben stellen Behandlungen ohne signifikanten Unterschied dar,

n=15

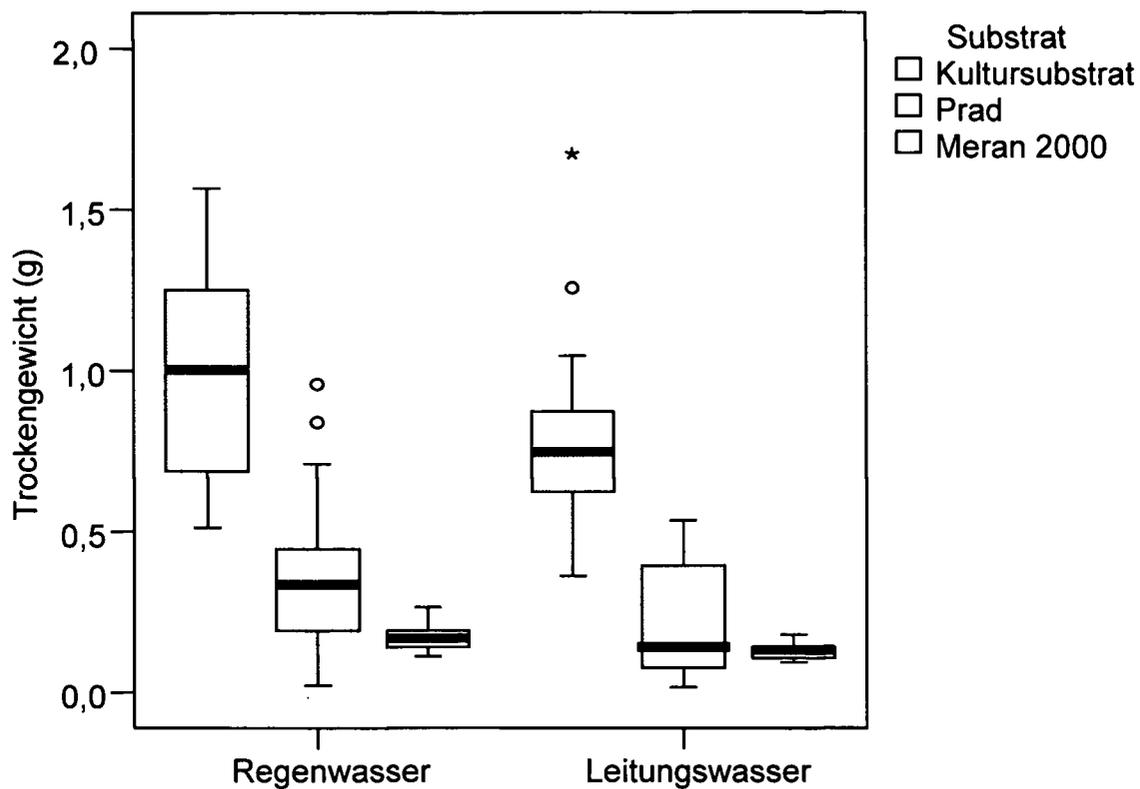


Abbildung 23: Lage und Streuung der Trockengewichtswerte der verschiedenen Substrate der Aussaat vom Februar nach Arte des Gießwassers, Laimburg, Juni 2006, n=30

Im Kultursubstrat konnten eindeutig höhere Trockengewichtswerte durch das Gießen mit Regenwasser erreicht werden (Abbildung 23). Das mittlere Trockengewicht für die Behandlungen mit Regenwasser war immer höher als für jene mit Leitungswasser, allerdings unterscheidet sich das mittlere Trockengewicht der Pflanzen in der Erde Prad und Meran 2000 nach verwendetem Gießwasser nicht signifikant.

Der Vergleich der Varianten mit Erde Meran 2000 der ersten Versuchsserie und zweiten Versuchsserie hat durch eine mehrfaktorielle Varianzanalyse gezeigt, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten gab, obwohl möglichst ähnliche Trockengewichtswerte erhofft wurden (Tabelle 7). Die über dem Sommer gewachsenen Pflanzen in der Erde Meran 2000, gegossen mit Leitungswasser, haben ein mittleres Trockengewicht von 0,22 Gramm im Vergleich zu denen bis Juni mit einem Trockengewicht von 0,13 Gramm. Für die Varianten, die mit Regenwasser gegossen worden sind, verhält es sich genau umgekehrt, wo die Kontrollvariante trotz

längerer Wachstumszeit bedeutend weniger Gewicht hervorgebracht hat: 0,077Gramm im Vergleich zu 0,16 Gramm.

Tabelle 7: Vergleich des Trockengewichts der Behandlungen Erde Meran 2000 der ersten (Aussaat Februar) und zweiten (Aussaat Juni) Versuchsserie, Laimburg 2006 (ANOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	df	F	Sig.
Gießwasser	1	0,000	0,997
Erde Meran 2000	1	11,331	0,002
Gießwasser * Erde Meran 2000	1	31,171	0,000

Welchen Einfluss der unterschiedliche Wachstumszeitpunkt und mit ihm verbunden andere externe Faktoren wie Temperatur, auf das Trockengewicht der Behandlungen Erde aus Prettau hatten, kann nicht gesagt werden. Deshalb werden zum Vergleich der Substrate aus Prad und Prettau, der Wachstumsverlauf und allgemeine Vitalitätsbeobachtungen, um eine Standortauswahl für den Feldversuch treffen zu können. Mehr dazu am Ende der Ergebnisse des Gefäßversuchs.

Die Varianzanalyse bestätigt die Auswirkungen des Inokulums für die Behandlungen Erde Prettau. Wird der Faktor Gießwasser unabhängig betrachtet, hat auch er einen Einfluss auf die hervorgebrachte Biomasse. Die Behandlungen mit Regenwasser brachten Pflanzen mit höherem Trockengewicht hervor als jene mit Leitungswasser. Keine signifikanten Auswirkungen werden durch die Kombination der Faktoren Inokulum und Gießwasser festgestellt (Tabelle 8). Das durchschnittliche Trockengewicht der Pflanzen aus der Erde Prettau, die einen Zusatz von Erde aus Meran 2000 besaßen, ist doppelt so hoch, wie bei denen ohne Zusatz bei gleichem Gießwasser (Abbildung 24).

Tabelle 8: Effekte für das Trockengewicht der Pflanzen aus der Ansaat in Erde Prettau im Juni, Laimburg, Oktober 2006 (ANOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	df	F	Sig.
Inokulum Erde Meran 2000	1	88,196	0,000
Gießwasser	1	10,849	0,002
Inokulum * Gießwasser	1	0,000	0,987

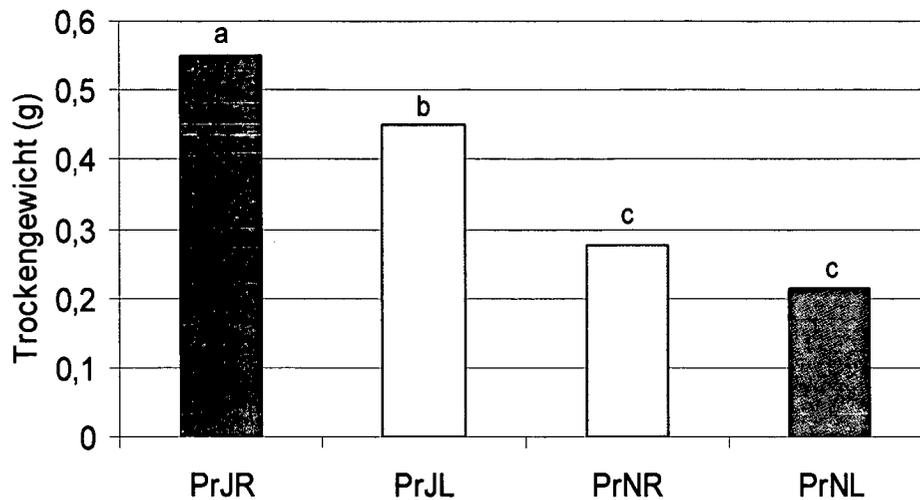


Abbildung 24: Mittleres Trockengewicht der einzelnen Behandlungen der Aussaat in Erde Prettau vom Juni, Laimburg Oktober 2006. Gleiche Buchstaben stellen Behandlungen ohne signifikanten Unterschied dar, n=15

Die Pflanzen aus PrJR hatten im Durchschnitt gleich viel Spross- und Wurzeltrockenmasse ausgebildet. Auch für PrJL ergibt sich ein ähnliches Verhältnis. Bei den Varianten PrNR und PrNL fällt das Ergebnis zugunsten der unterirdischen Biomasse aus (Abbildung 25).

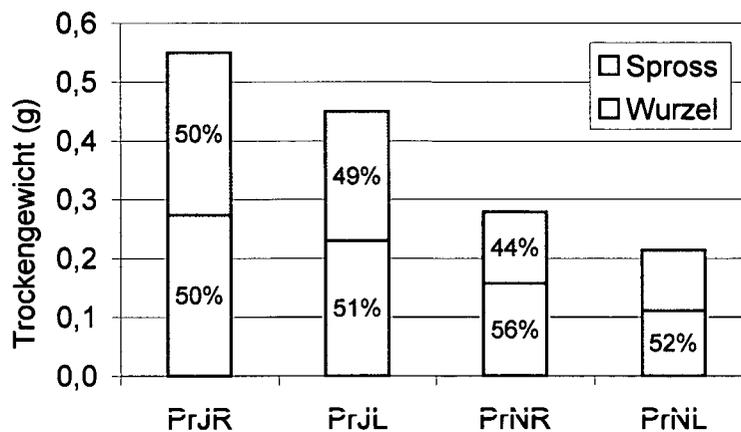


Abbildung 25: Mittleres Trockengewicht der Behandlungen aus der zweiten Versuchsserie, sowie Prozentanteil der Wurzel- und Sprossbiomasse am Gesamtgewicht, Laimburg, Oktober 2006, n=15

Die Pflanzen, die im Kultursubstrat heranwuchsen, bildeten im Verhältnis zu den oberirdischen Pflanzenteilen weniger Wurzelmasse aus. Der Anteil an Wurzeln liegt bei den 108 Tage alten Pflanzen im Kultursubstrat zwischen 26% und 29% des

Gesamtrockengewichts. Über 70% an der Gesamtbiomasse war bis zum Erntezeitpunkt in Blattform vorhanden (Abbildung 26). Mit absteigendem Gesamtrockengewicht nimmt der Anteil der Wurzelmasse zu. Weniger kräftige Pflanzen müssen verstärkt in die für die Nährstoffversorgung wichtigen unterirdischen Organe investieren, damit sie überleben, beispielsweise die Pflanzen aus der Variante PNL.

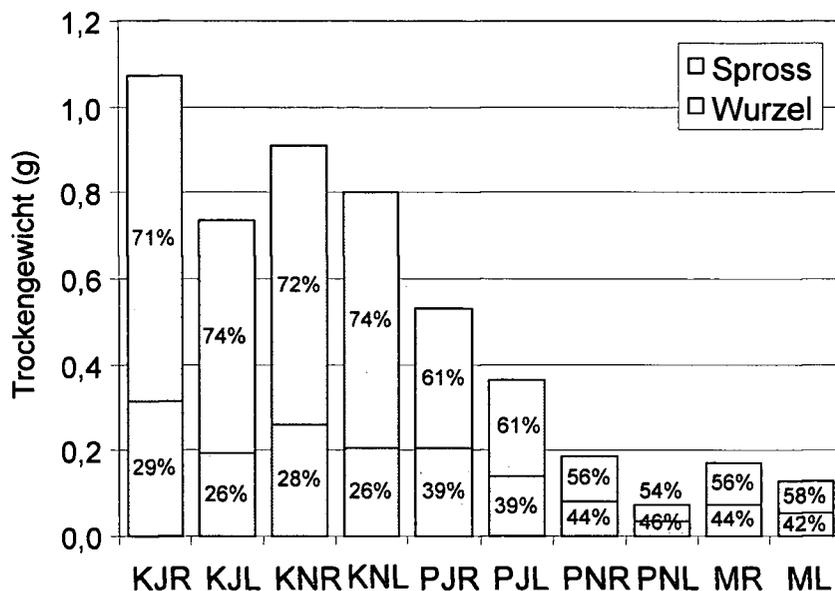


Abbildung 26: Mittleres Trockengewicht der Behandlungen aus der ersten Versuchsserie, sowie Prozentanteil der Wurzel- und Sprossbiomasse am Gesamtgewicht, Laimburg, Juni 2006, n=15

Bis zum Pflanzenalter von vier Monaten hat, sei es das Höhenwachstum, sei es die Zunahme an Biomasse durch Ausbildung von Trieben Bedeutung für die Zunahme an Gewicht der Pflanze. Die Korrelationsanalyse zeigt den Zusammenhang zwischen Höhe und Sprosstrockengewicht, sowie Anzahl der oberirdischen Triebe und dem Sprosstrockengewicht (Abbildung 27 und Abbildung 28).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die kräftigsten Pflanzen, mit am meisten grünen aktiven und höchsten Blättern, sowie einer größten horizontalen Ausbreitung, aus dem Kultursubstrat stammen. Bis zum Pflanzenalter von 85 Tagen war eine schnelle Zunahme an oberirdischer Biomasse zu beobachten. Zwar vergilbten und starben Blätter ab, doch der Austrieb kräftig grüner Blätter war im Vergleich zu den anderen Varianten besonders stark. Die Vitalität und Biomassenproduktion wurde bei diesen

Versuchspflanzen durch das Inokulat nicht gesteigert. Das Regenwasser begünstigte das Pflanzenwachstum.

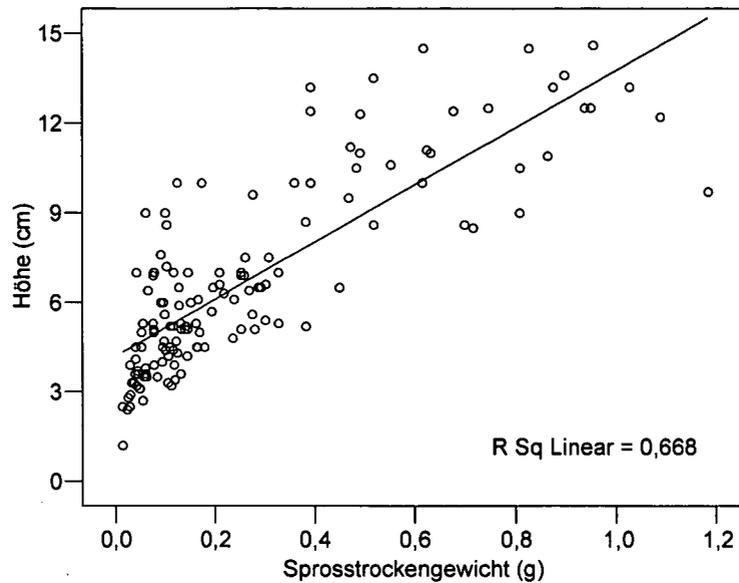


Abbildung 27: Zusammenhang von Sprosshöhe und Sprossrockengewicht von *Trifolium alpinum*, Laimburg, Oktober 2006

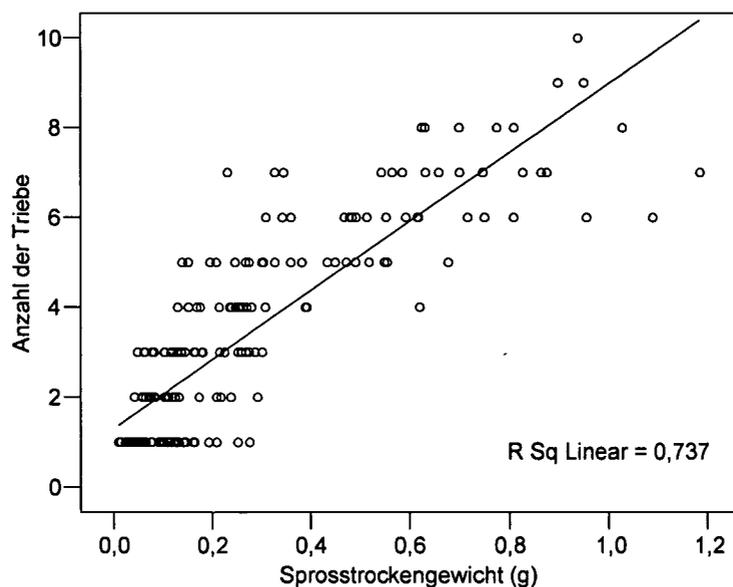


Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Anzahl der Triebe und Sprossrockengewicht von *Trifolium alpinum*, Laimburg, Oktober 2006

Im Gegenteil dazu war das Inokulat für eine kräftigere Entwicklung der Pflanzen in der Erde Prad ausschlaggebend. Schon im ersten Monat konnte beobachtet werden, dass die Pflanzen in der Erde Prad ohne Zusatz kümmerlich waren und zu chlorotischer

Verfärbung der Blätter neigten und die Varianten einen Verlust von Pflanzen verzeichnen mussten. Jene Pflanzen die zur Erde Prad eine zwei Zentimeter hohe Schicht an Erde Meran 2000 bekamen, waren vitaler, konnten mehr Blätter und Triebe hervorbringen und waren nach den Pflanzen im Kultursubstrat die zweitkräftigsten Pflanzen. Die Pflanzen, in nur Erde Prad gegossen mit Leitungswasser, waren bis zur Ernte die schwächsten und beinahe dem Absterben nahe.

Die Entwicklung der Pflanzen im autochthonen Substrat Meran 2000 unterschied sich ersichtlich zu der der anderen Varianten. Der Wuchsprozess ging sehr langsam voran, war aber im Vergleich zu den anderen Pflanzen bis zum Erntezeitpunkt im Anstieg. Sie waren kleiner als die anderen Pflanzen, doch nicht weniger vital.

Die Pflanzen in der Erde Prettau wuchsen zwar über einen anderen Zeitraum, dennoch kann gesagt werden, dass sie sich ohne dem förderlichen Zusatz von Erde aus Meran 2000 besser entwickelten, als jene in der Erde Prad ohne Inokulum. Die Trockengewichtswerte der Pflanzen mit Inokulum kommen in den Bereich derer der Erde Prad mit Zusatz.

Im Anhang findet sich die Pflanzenentwicklung fotografisch dokumentiert (Bildreihe 1 bis 14).

### **3.2.3. Bildung von Rhizobienknöllchen**

Schon bei einigen Pflanzen im Entwicklungsstadium von eineinhalb Laubblättern, die im Zuge der Selektion aus der Erde gezogen wurden, waren kleine Knöllchen zu beobachten. Die Rhizobienuntersuchung nach der Ernte der drei bis vier Monate alten Pflanzen gab genauen Aufschluss über die Rhizobienausbildung der Pflanzen in den unterschiedlichen Substraten mit oder ohne Zusatz von Erde aus Meran 2000.

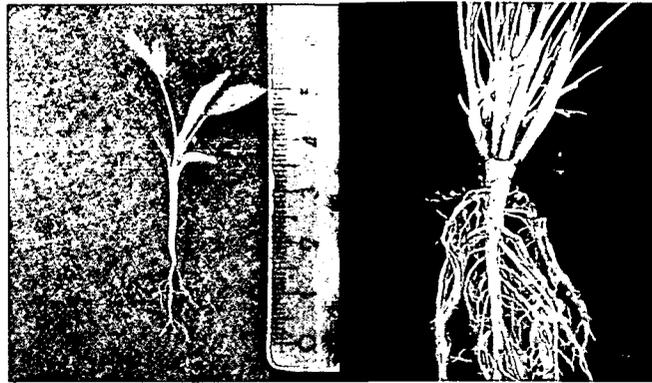


Abbildung 29: Ausbildung von Wurzelknöllchen an einer 23 (links) und 108 Tage (rechts) alten Pflanze, Laimburg, März und Juni 2006

Eine mehrfaktorielle Varianzanalyse hat eindeutige Effekte des Zusatzes von Erde aus Meran 2000 auf die Entwicklung von Wurzelknöllchen an den *Trifolium alpinum* Pflanzen aufgezeigt. Auch hat es Unterschiede gegeben, welches Substrat verwendet worden ist. Das Gießwasser beeinflusst die Ausbildung von Wurzelknöllchen nicht (Tabelle 9).

Tabelle 9: Effekte auf die Bildung von Rhizobienknöllchen der ersten Versuchsserie, Laimburg, Juni 2006 (ANOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	df	F	Sig.
Inokulum	1	78,737	0,000
Substrat	2	41,479	0,000
Gießwasser	1	3,510	0,064

Außer in der Erde Prad ohne Inokulum, hat bei allen Varianten eine Infektion durch Rhizobien stattgefunden. Die höchste Anzahl an Wurzelknöllchen wurde an den Pflanzen aus dem Kultursubstrat, dem Erde aus Meran 2000 beigegeben wurde, beobachtet. Mit einem mittleren Knöllchenvorkommen von 19 Stück hebt sich diese Variante klar von den anderen ab. Auch wenn das Inokulum gefehlt hat, wurden im reinen Kultursubstrat Knöllchen beobachtet. In der Erde Prad vermochte der Zusatz eine durchschnittliche Knöllchenausbildung von fünf Knöllchen pro Pflanze zu bewirken. Im Zusatzsubstrat selbst bildeten die Pflanzen im Durchschnitt nur drei Knöllchen aus. Nur in Kultursubstrat mit Inokulum besaßen alle 24 Pflanzen Knöllchen, bei den anderen Substraten waren immer Pflanzen dabei, die nicht infiziert waren.

Tabelle 10: Mittleres Knöllchenvorkommen in den Substraten der ersten Versuchsserie mit und ohne Zusatz von Erde Meran 2000, Laimburg, Juni 2006

Substrat*Inokulum	Knöllchenmittelwert	Standardabweichung	N
KJ	19	12,611	24
KN	3	4,010	24
PJ	5	4,504	24
PN	0	0,000	24
M	3	1,504	24

Auch in der Erde Prettau hatte das Inokulum Erde Meran 2000 Auswirkungen auf die Knöllchenbildung, was eine Varianzanalyse statistisch bestätigt. Eine Infektion fand auch in der Erde Prettau ohne Zusatz statt (Tabelle 11). Das Inokulum konnte aber das Knöllchenvorkommen signifikant erhöhen. So wurden in PrJ im Vergleich zu PrN dreimal so viele Knöllchen gezählt. Jede Pflanze in PrJ war infiziert. Die Kontrollvariante Meran 2000 brachte im Durchschnitt mehr Wurzelknöllchen hervor, als die Behandlung Erde Meran 2000 von der ersten Versuchsserie.

Tabelle 11: Mittleres Knöllchenvorkommen in der Erde Prettau mit und ohne Zusatz von Erde Meran 2000, sowie in der Kontrollvariante mit Erde Meran 2000 der zweiten Versuchsserie, Laimburg, Oktober 2006

Substrat*Inokulum	Knöllchenmittelwert	Standardabweichung	N
PrJ	6	5,941	24
PrN	2	1,949	24
M Kontrolle	5	3,036	24

## 4. FELDVERSUCH PRETTAU

Zum Zeitpunkt der Standortsentscheidung waren leider noch keine Endergebnisse des Gefäßversuchs für die Erde Prettau vorhanden. Es konnte aber in den Gefäßen beobachtet werden, dass die Vitalität, der zu dieser Zeit einen Monat alten Pflanzen, sehr gut war. Die Pflanzen aus dem Gefäßversuch der Erde Prad waren hingegen bis zum zweiten Monat nicht sehr vital gewesen. Vier Pflanzen waren in der Erde Prad abgestorben und die übrigen hatten als Jungpflanzen zum Teil chlorotische Blätter. Obschon sie sich bis zum Alter von 85 Tagen gut erholt hatten und ein Rückgang der grünen Blätter bis zum Erntezeitpunkt auch bei den Pflanzen im Kultursubstrat beobachtet wurde, wurde als Standort für den Feldversuch Prettau ausgewählt. Grund dafür waren sehr geringe Trockengewichtswerte der Varianten von Erde Prad ohne Zusatz von Meran 2000.

### 4.1. Material und Methoden

#### 4.1.1. Versuchsdesign

##### 4.1.1.1. Lage

Die Anzucht der *Trifolium alpinum* Pflanzen in Roottrainer erfolgte in einem Gewächshaus des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrums Laimburg der Autonomen Provinz Bozen- Südtirol (Italien) 225 m ü. d. M. Anschließend wuchsen die Pflanzen sechs Wochen im Freien neben dem Gewächshaus. Mitte Mai wurden die Kisten mit den Roottrainer nach Welsberg (Provinz Bozen; Italien) auf 1087 m ü. d. M. gebracht, wo sie bis zum Aussetzen im Forstgarten von Prettau (Juli) blieben. Der Feldversuch wird im Forstgarten der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol (Italien) in der Gemeinde Prettau im Ahrntal durchgeführt (Abbildung 30, Bildreihe 15 im Anhang). Der Forstgarten befindet sich in der Fraktion Kasern auf 1.600 m ü. d. M. Die Versuchsflächen liegen am Südosthang des Tales. Die Jahresniederschlagsmengen schwanken im Ahrntal zwischen 800 und 1.200 mm. Die Niederschläge sind ungleich über die Monate verteilt mit einem Maximum im Sommer. Die Reihenfolge von der feuchtesten zur trockensten Jahreszeit lautet Sommer, Herbst, Frühling, Winter.

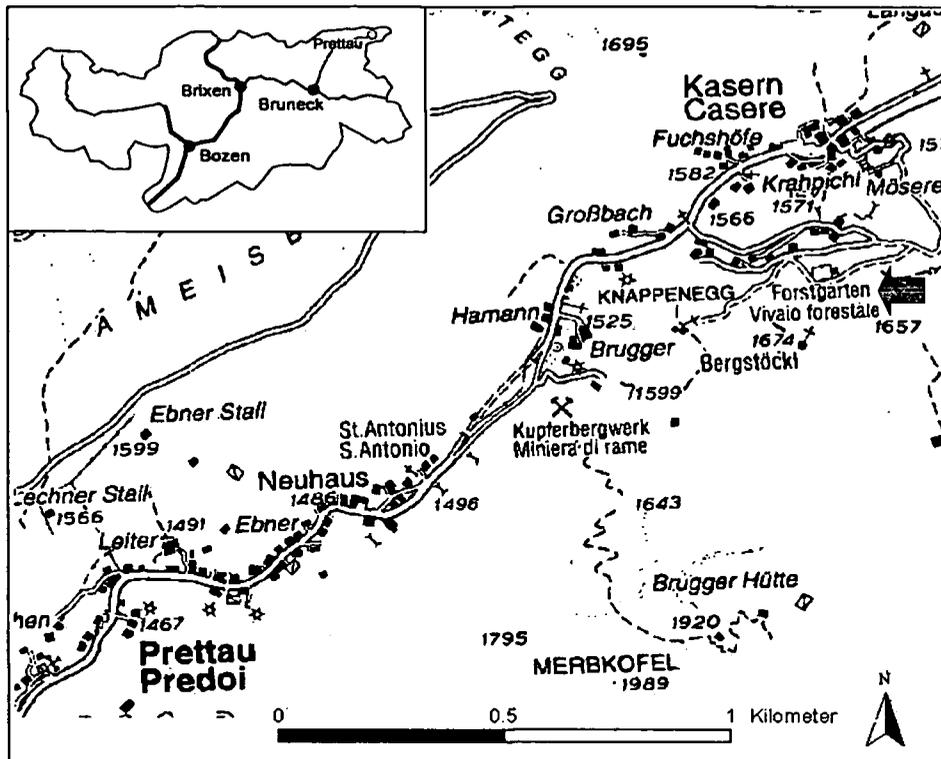


Abbildung 30: Standort des Feldversuchs im Forstgarten von Prettau (Kasern) im Ahrntal

#### 4.1.1.2. Versuchsanordnung

Die Beete für die *Trifolium alpinum*-Pflanzung messen 1 m x 13,5 m (Abbildung 31). Jedes Beet umfasst vier Felder zu 1 m x 3 m mit einem Abstand von 50 cm. Zwei Felder bilden einen Block. Die vier Blöcke beinhalten Pflanzen aus der Anzuchterde Kultursubstrat und Kultursubstrat mit Zusatz Erde Meran 2000, sowie zwei verschiedene Pflanzenabstände in der Reihe (7,5 cm und 10 cm) pro Bereich mit oder ohne Inokulum. Es ergeben sich daraus drei Faktoren: erstens der Block, welcher Einflüsse auf das Pflanzenwachstum durch den Feldboden hat, zweitens das Inokulum, welches bei der Anzucht vorhanden oder nicht vorhanden war und drittens der Pflanzenabstand, der einen möglichst schnellen Reihenschluss bringen soll. Der Abstand zwischen den Reihen ist mit 15 cm festgelegt (Abbildung 32).

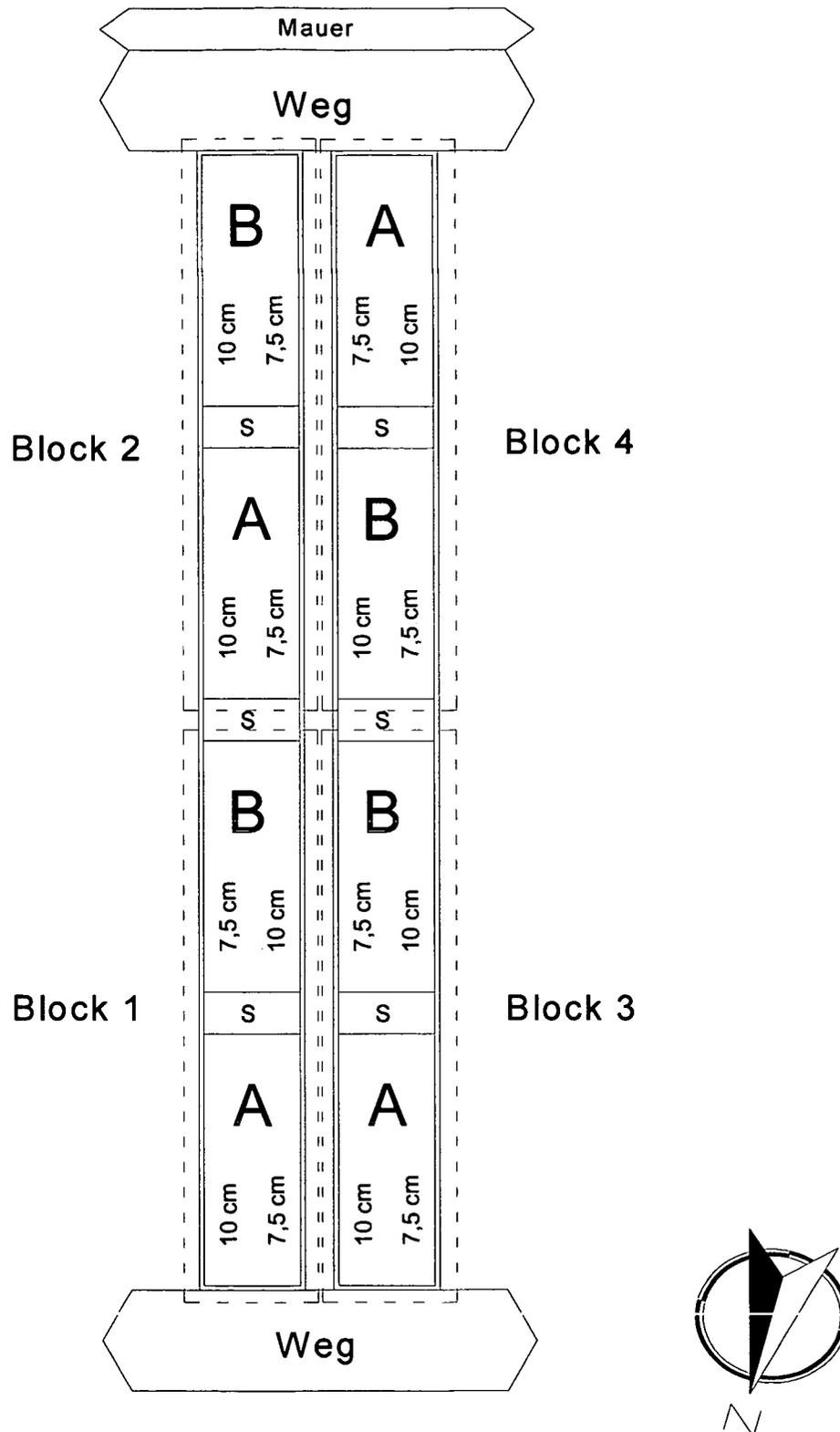


Abbildung 31: Versuchsanordnung im Forstgarten Prettau, 2006; Felder und Blöcke mit Pflanzen, die in Roottrainer auf Kultursubstrat (A) oder auf Kultursubstrat und Zusatz von der Meran 2000 (B) herangezogen worden sind; verschiedene Pflanzenabstände in der Reihe; zwischen den Feldern Reihensaat mit *Trifolium alpinum*-Saatgut (S)

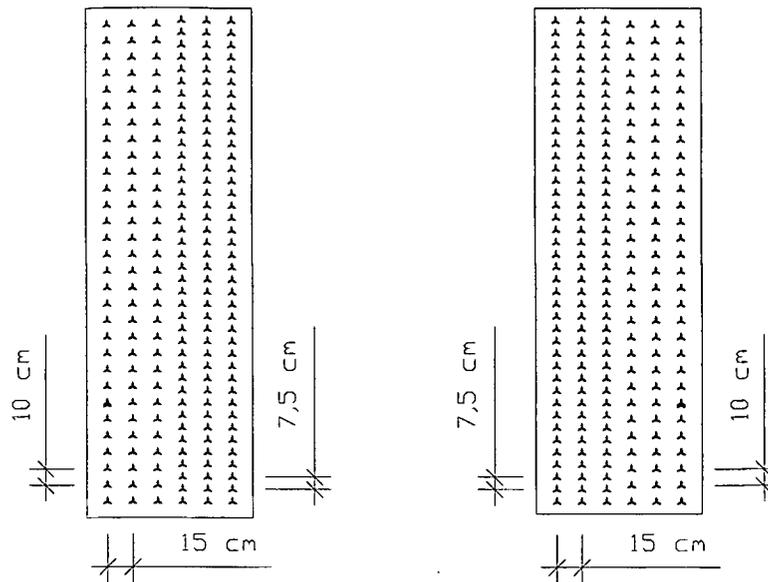


Abbildung 32: Abstände der Pflanzen im Forstgarten Prettau, 2006. Der Pflanzenabstand ist in den Feldern für je drei Reihen zufällig angeordnet (vgl. Abbildung 31).

#### 4.1.1.3. Vorbereitungsarbeiten

Die Pflanzen für den Feldversuch wurden in Roottrainer auf Kultursubstrat herangezogen, um besonders weit entwickelte und kräftige Pflanzen ins Feld auszusetzen zu können. 33 Roottrainer (Ronaash Roottrainers, Rannoch 'B' Code: RR01B QTY: 500) wurden in eine Kiste eingeordnet. Ein Roottrainer beinhaltet 5 „Zellen“, d.h. es können pro Roottrainer 5 Pflanzen herangezogen werden. Es wurden 16 Kisten zu je 165 Pflanzen hergestellt. Für die Anzucht wurde Kultursubstrat (Presstopfsubstrat 46011 Strato Hum, Gebrüder Patzer GmbH – Sinnatal/Jossa, Deutschland) verwendet, wobei in 8 Kisten eine 2 cm dicke Oberschicht autochthoner Erde aus Meran 2000 als Inokulat zugegeben wurde.

Je „Roottrainerzelle“ wurden drei skarifizierte Samen ausgesät, um zu garantieren, dass 165 Pflanzen pro Kiste keimen und zu Jungpflanzen heranwachsen. Vier Wochen nach der Aussaat wurden die Pflanzen vereinzelt, d.h. bis auf eine Pflanze pro „Roottrainerzelle“ wurden die Pflanzen entfernt. Die Pflanzen wurden mit Leitungswasser gegossen.

Im Forstgarten Prettau wurden die Beete durch Frau Maria Voppichler vorbereitet. Die Versuchsbeete wurden vom Unkraut befreit, umgestochen und leicht mit Stallmist gedüngt.

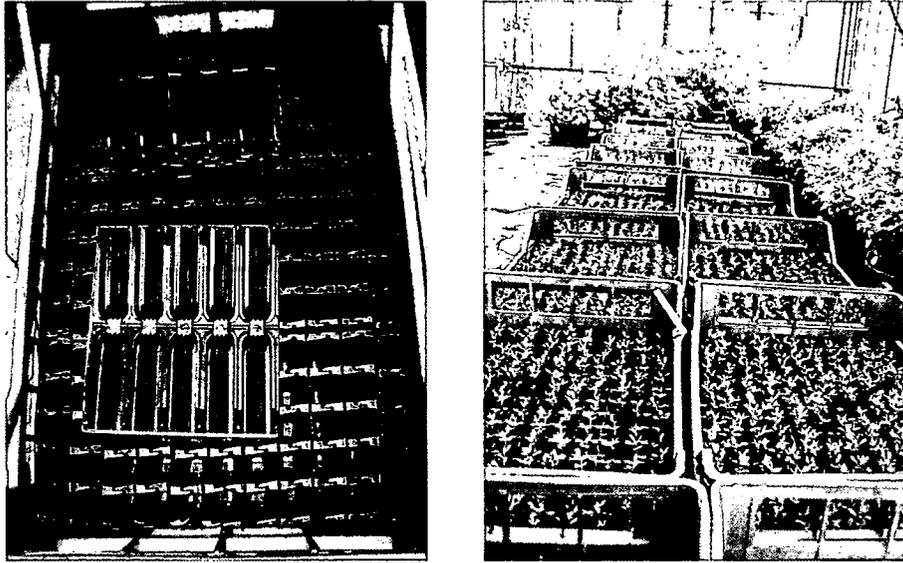


Abbildung 33: Roottrainer in einer Kiste eingeordnet, offener und geschlossener Roottrainer mit 5 „Zellen“ (links); Jungpflanzen vor dem Selektieren im Gewächshaus Laimburg (rechts), Februar und März 2006

Die in Roottrainer herangezogenen Pflanzen wurden im Alter von fünf Monaten ins Feld ausgepflanzt. Das Auspflanzen erfolgte mit Hilfe einer sog. „Setzstange“, mit der Löcher in der Form der Wurzelballen gestochen werden können, in denen die Pflanzen eingesetzt werden. Die Pflanzreihen wurden in einem Abstand von 15 cm angelegt. In drei Reihen in den Bereichen „Inokulum vorhanden“ bzw. „Inokulum nicht vorhanden“ wurden die Pflanzen mit einem Längsabstand von 7,5 cm und in den anderen drei Reihen mit dem Abstand 10 cm gepflanzt (Abbildung 32). Zwischen den Feldern wurden zusätzlich zwei Reihen *Trifolium alpinum* Samen angesät (Abbildung 31).

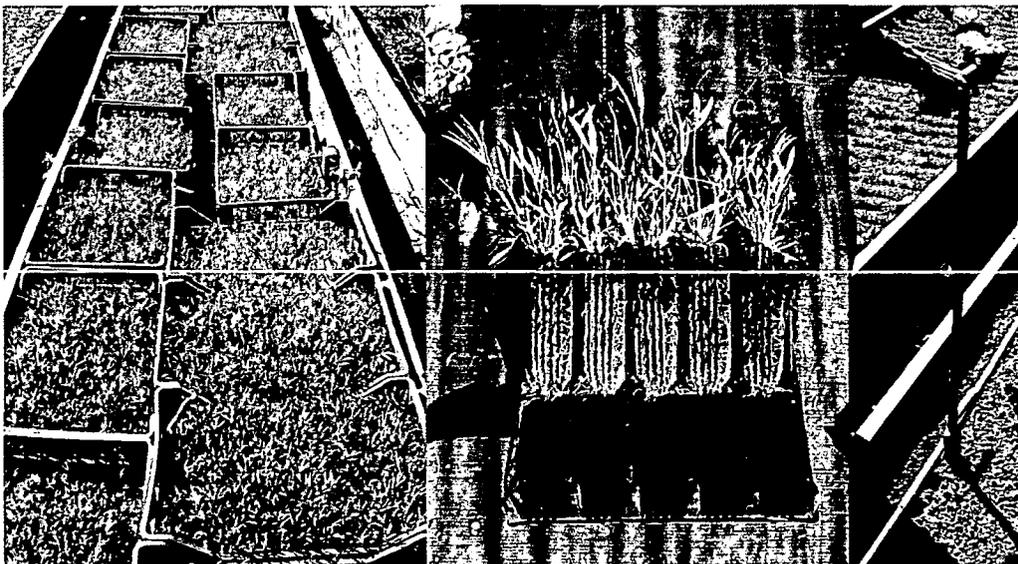


Abbildung 34: Fünf Monate alte Pflanzen in Roottrainer; offener Roottrainer ; Setzstange (v.l.n.r.), Forstgarten Prettau, Juli 2006

## 4.1.2. Versuchsauswertung

### 4.1.2.1. Erfassung von Wachstumsparametern

Um die Pflanzen zum Auspflanzungszeitpunkt zu beschreiben, wurden für je 12 Pflanzen der Anzucht mit und ohne Inokulum eine Trockengewichtsmessung und eine Untersuchung der Rhizobienknöllchen vorgenommen, wie in den Kapiteln 3.1.2.1. und 3.1.2.2. beschrieben ist.

Die Erfassung der Wachstumsparameter im Feld wurde an zwei Zeitpunkten vorgenommen. Die erste Aufnahme fand 46 Tage nach dem Auspflanzen (2. September 2006) und die zweite 82 Tage nach dem Auspflanzen (8. Oktober 2006) an den gleichen Aufnahmepunkten statt. Folgende Parameter wurden erhoben:

- Deckungsgrad oder Verteilung der *Trifolium alpinum* und Unkraut Pflanzen für die Teilflächen, die sich aus den Faktoren Inokulum und Pflanzenabstand ergeben

Es wurden anfangs zwei unterschiedliche Methoden zur Datenerhebung probeweise durchgeführt. Auf ihre Eignung wurden die Deckungsgradschätzmethode mit dem „Göttinger Zählrahmen“ (KEES et al. 1984) und die Punkt-Methode mit einem Frequenzrahmen (DIERSCHKE 1994) getestet.

Der „Göttinger Zählrahmen“ umfasst eine Fläche von  $1/10 \text{ m}^2$  (31,6x 31,6 cm). Um die Abschätzung des Unkrautdeckungsgrades -bzw. Deckungsgrad der Nutzpflanze zu erleichtern, ist außen eine Vergleichsfläche angebracht, deren weiße Fläche 5% und deren schwarze Teilfläche 1% der umrahmten Fläche entspricht (KEES et al. 1984). Die Unkräuter und Nutzpflanzen werden innerhalb der umrahmten Fläche gezählt und der Deckungsgrad in % abgeschätzt. Mit ihm lassen sich nach KEES et al. (1984) schnell und zuverlässig die Zahl und der Deckungsgrad der Unkräuter und Nutzpflanzen pro  $\text{m}^2$  ermitteln. Die Deckungsgradschätzung ist Grundlage für die Einschätzung, ob das Unkraut die Pflanzen schon derart stark bedrängt, dass ein Vorgehen gegen die Verunkrautung notwendig ist.

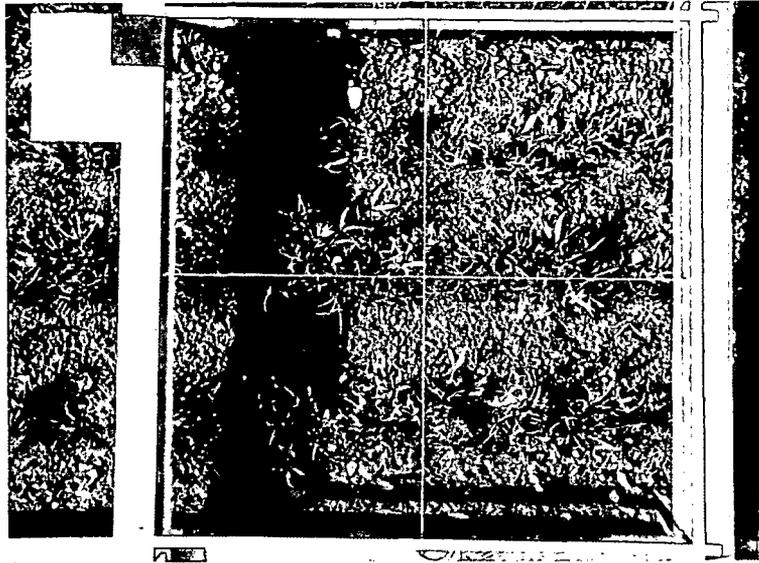


Abbildung 35: Schätzrahmen nach der „Göttinger Schätz- und Zählmethode“ 50 cm mal 50 cm, mit Referenzfläche: die graue Fläche stellt 1%, die weiße 5% der  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup> Fläche dar, Forstgarten Prettau, August 2006

Um eine Aufnahme für je drei Pflanzenreihen vorzunehmen wurde die Rahmenfläche modifiziert und ein Rahmen von  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup> verwendet (Abbildung 35). Die entsprechende Referenzfläche dazu wurde hergestellt. Die Schätzungen wurden von zwei Personen durchgeführt, damit die Objektivität der Schätzung verringert wird.

DIERSCHKE (1994) schlägt die Frequenzbestimmung nach RAUNKIAER (1913) vor, womit für Teilflächen Artenlisten erstellt werden. Die Frequenz ist ein Maß für die Verteilung und Häufigkeit von Individuen einer Art auf einer Fläche. DIERSCHKE (1994) sieht diese Methode als eine objektivere im Vergleich zu einer Deckungsgradschätzung. Eine Verfeinerung der Frequenzbestimmung ist die Punkt-Methode, bei der alle Arten bestimmt werden, die eine senkrecht positionierte Nadel berühren (DIERSCHKE 1994). Da im vorliegenden Versuch nicht die Artenzusammensetzung im Vordergrund steht, sondern lediglich bestimmt werden soll, wie häufig *Trifolium alpinum* Pflanzen und Unkrautpflanzen pro m<sup>2</sup> vorkommen, wurde eine Methode erstellt, die sich an die Punkt-Methode anlehnt. Als Frequenzrahmen wurde ein Rahmen von 50 x 50 cm gewählt, der durch gespannte Fäden in ein Raster mit 5 cm Abständen unterteilt wurde, um 100 Positionspunkte für die Aufnahme zu erhalten (Abbildung 36 links). Mit einem dünnen spitzen Stab wird an den Kreuzungspunkten der Fäden senkrecht nach unten gefahren bis eine Pflanze oder das Erdreich berührt wird (Abbildung 36 rechts). Für die 100 Oberflächenberührungen wird

notiert, ob *Trifolium alpinum*, Unkraut oder Erde berührt wurde. Die Unkrautpflanzen werden nicht nach Arten getrennt aufgenommen.



Abbildung 36: Frequenzrahmen 50 cm mal 50 cm mit 100 Teilflächen (links), Aufnahme der Häufigkeit durch Berührung mit einem spitzen Stab (rechts), Forstgarten Prettau, August 2006

Für die Datenerfassung wurde der „Göttinger Zählrahmen“ ausgewählt. Im Vergleich zur Frequenzbestimmung kann die Aufnahme in kürzerer Zeit erfolgen und nach etwas Übung im Schätzen kann der Deckungsgrad sehr gut bestimmt werden. Die Aufnahme an 100 Punkten erfordert mehr Zeit und eignet sich besser, wenn eine Artenaufnahme oder Studie zur Vegetationsdynamik vorgenommen werden will.

- Anzahl der *Trifolium alpinum* und Unkraut Pflanzen pro Quadratmeter

Innerhalb des Schätzrahmens von  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup> werden die Pflanzen von *Trifolium alpinum* und Unkraut zu jedem Aufnahmeterrain gezählt. Die Anzahl der Pflanzen wurde auf einen Quadratmeter hochgerechnet.

- Maximaler Durchmesser der *Trifolium* Pflanzen

Der maximale Durchmesser wurde an den zwei Aufnahmeterrainen für je 40 Pflanzen in den nach den Faktoren Inokulum und Pflanzenabstand unterschiedlichen Teilflächen gemessen. Bei der zweiten Aufnahme wurden genau die gleichen Pflanzen wie bei der ersten für die Durchmessermessung herangezogen, um eine mögliche Veränderung feststellen zu können.

- Anzahl der blühenden Pflanzen und Blütenstände aus allen Pflanzen im Versuch
- Anzahl der reifen Samen aus allen Pflanzen im Versuch
- Keimungsrate der geernteten Samen

Von insgesamt 560 Pflanzen wurden die blühenden Pflanzen, deren Blütenstände und die Reifen Samen erhoben. Keimtests für die Samen in unbehandeltem und behandeltem (skarifizierten) Zustand sind durchgeführt worden. Alle geernteten Samen wurden zunächst in unbehandeltem Zustand in einem Plastikbehälter (18 cm lang, 13 cm breit, 5,8 cm hoch) in Zehnerreihen auf Filterpapier aufgelegt, mit destilliertem Wasser befeuchtet und der Behälter mit einer Plastikfolie mit Löchern bedeckt. Der erste Keimtest erfolgte über fünf Tage bei Zimmertemperatur. Die Samen, die nicht keimten, wurden dann mit feinem Sandpapier skarifiziert (siehe Kapitel 3.1.1.4). Der zweite Keimtest wurde in gleicher Weise wie der erste über fünf Tage durchgeführt.

- Entwicklungsstadium der Pflanzen aus der Aussaat

Die Anzahl der Triebe und Laubblätter wurde erhoben.

#### 4.1.2.2. Statistische Auswertung

Um die Ergebnisse der Trockengewichtsmessung an den 5 Monate alten Pflanzen und der Rhizobienuntersuchung auszuwerten wurde eine Mehrfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt, wie im Kapitel 3.1.2.3. beschrieben ist. Die Daten sind normalverteilt, weisen allerdings keine Varianzhomogenität auf (Levene's Test Signifikanz 0,045, Kolmogorov-Smirnov-Test Signifikanz 0,995).

Das Versuchsdesign ist eine zweifaktorielle Split Plot Anlage, in der der Faktor Inokulum (vorhanden, nicht vorhanden) den Großteilmfaktor und der Faktor Pflanzenabstand in der Reihe (7,5 cm oder 10 cm) den Kleinteilmfaktor darstellt. Um die Effekte der Faktoren Inokulum, Pflanzenabstand in der Reihe und Block auf den Deckungsgrades von *Trifolium alpinum* und Unkrautpflanzen, sowie dem Hortsdurchmesser der *Trifolium alpinum*-Pflanzen zu testen, wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse für jeden Aufnahmetermin durchgeführt. Die Änderung des Deckungsgrades von der ersten und zur zweiten Aufnahme wurde ebenfalls varianzanalytisch geprüft. Normalverteilung und Varianzhomogenität sind für diese

Daten gegeben. Die Normalverteilung wurde anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft. Die Varianzhomogenität wurde nach Cochran getestet. Um den Einfluss der Zeit zu erkennen, wurde eine Kovarianzanalyse (ANCOVA) durchgeführt, wobei der Faktor Aufnahmezeitpunkt als unabhängige Variable einbezogen wird. Die Berechnungen wurden mit Hilfe des Computerprogramms SPSS 12.0 durchgeführt.

## 4.2. Ergebnisse

### 4.2.1. Entwicklungszustand der 5 Monate alten Roottrainerpflanzen

Die Varianzanalyse zeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Entwicklung der Pflanzen im Kultursubstrat mit oder ohne Zusatz von Erde aus Meran 2000 gab. Das mittlere Trockengewicht für 12 Pflanzen, in Kultursubstrat herangezogen, beträgt 0,85 Gramm. Für gleich viele Pflanzen, herangewachsen in Kultursubstrat mit einer Schicht Erde Meran 2000 versehen, wurde ein durchschnittliches Trockengewicht von 0,84 Gramm gemessen.

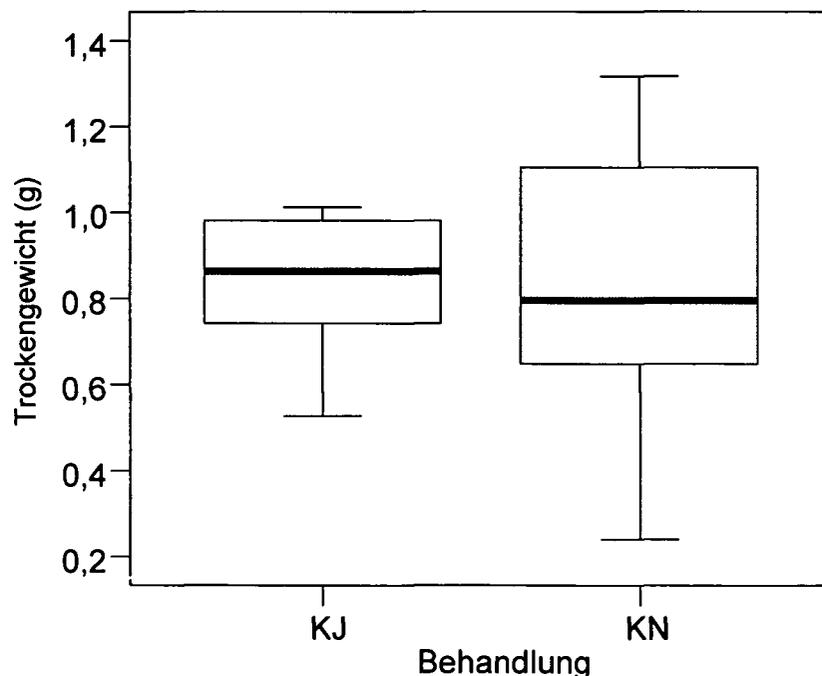


Abbildung 37: Lage und Streuung der Trockengewichtswerte von 5 Monate alten Pflanzen (Juli 2006) in Roottrainer auf Kultursubstrat mit (KJ) und ohne (KN) Zusatz von Erde Meran 2000 herangezogen, n=12

Die Anzucht in Roottrainer ließ die Pflanzen ein ausgewogenes Verhältnis an ober- und unterirdischer Biomasse ausbilden (Abbildung 38). Beide Varianten brachten im

Durchschnitt 45 % an Wurzelmasse und 55% an Sprossmasse hervor. Diese Entwicklung lässt auf ein erfolgreiches Anwachsen der Pflanzen im Feld hoffen.

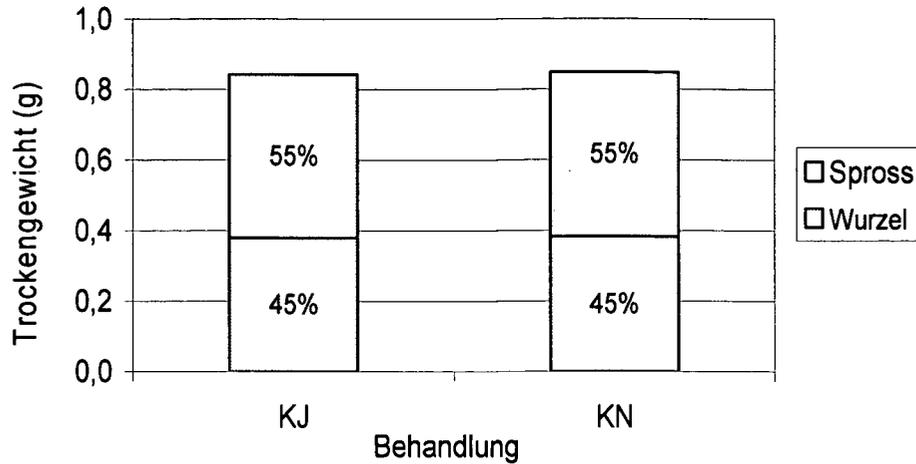


Abbildung 38: Mittleres Trockengewicht, sowie Prozentanteil der Wurzel- und Sprossbiomasse am Gesamtgewicht, Pflanzenalter 5 Monate, Juli 2006, n=12

Auch das Knöllchenvorkommen war varianzanalytisch untersucht worden. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in der Knöllchenentwicklung zwischen den Behandlungen mit und ohne Inokulum festgestellt. Pflanzen aus der Anzucht mit Inokulum bildeten durchschnittlich 35 Knöllchen und jene ohne Inokulum 29 Knöllchen aus.

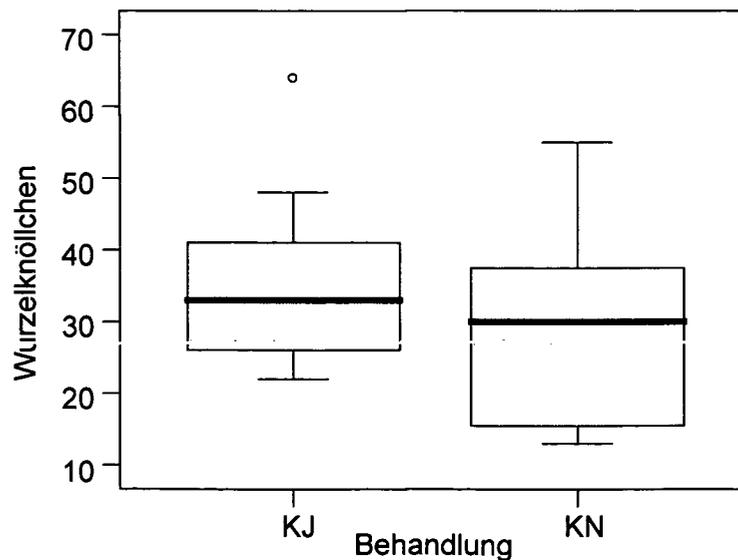


Abbildung 39: Lage- und Streuung der Wurzelknöllchenanzahl von 5 Monate alten Pflanzen (Juli 2006) in Roottrainer auf Kultursubstrat mit (KJ) und ohne (KN) Zusatz von Erde Meran 2000 herangezogen, n=12

#### 4.2.2. Entwicklung der Pflanzen im Feld

##### 4.2.2.1. Deckungsgrad von *Trifolium alpinum*

Wird die Ausbreitung der Pflanzen durch den Deckungsgrad in % der zwei Aufnahmen betrachtet, ist ersichtlich, dass der Pflanzenabstand in der Reihe Auswirkungen auf den Deckungsgrad hat (Tabelle 12). Kein Faktor hatte zum Zeitpunkt der ersten, außer die Kombination Inokulum \* Block, Einfluss auf die Höhe der Deckung von *Trifolium alpinum*. Auch die Aufnahme einen Monat später zeigte keine Auswirkungen der Einflussfaktoren. Die Differenz der Deckungsgradschätzungen lässt erkennen, dass sich der Deckungsgrad über den Monat September durch die Einwirkung von Inokulum und unterschiedlichem Pflanzenabstand nicht signifikant geändert hat (Tabelle 13). Es hat keine klare Zunahme an Deckung stattgefunden (Bildreihe 16 im Anhang) und die Zeit hatte keinen Effekt auf die Zunahme des Deckungsgrades. Es kann nicht gesagt werden, welcher Pflanzenabstand ein schnelleres Schließen der Reihen zur Folge hat.

Tabelle 12: Effekte der Faktoren Inokulum, Pflanzenabstand in der Reihe und Block auf den Deckungsgrad von *Trifolium alpinum* zum ersten (September 2006) und zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau (ANOVA,  $p < 0,05$ ), sowie der Einfluss der Zeit über das eine Monat (ANCOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	erste Aufnahme			zweite Aufnahme		
	df	F	Sig.	df	F	Sig.
Inokulum	1	1,027	0,386	1	0,551	0,512
Abstand	1	18,188	0,005	1	21,503	0,004
Block	3	1,285	0,421	3	3,097	0,189
Inokulum * Abstand	1	0,027	0,875	1	0,770	0,414
Inokulum * Block	3	12,682	0,005	3	1,398	0,332
Zeit				1	3,991	0,059

Tabelle 13: Effekte auf die Deckungsgraddifferenz von *Trifolium alpinum* im Forstgarten Prettau, Oktober 2006 (ANOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	df	F	Sig.
Inokulum	1	0,914	0,409
Abstand	1	1,901	0,217
Block	3	1,107	0,468
Inokulum * Abstand	1	0,685	0,440
Inokulum * Block	3	12,651	0,005

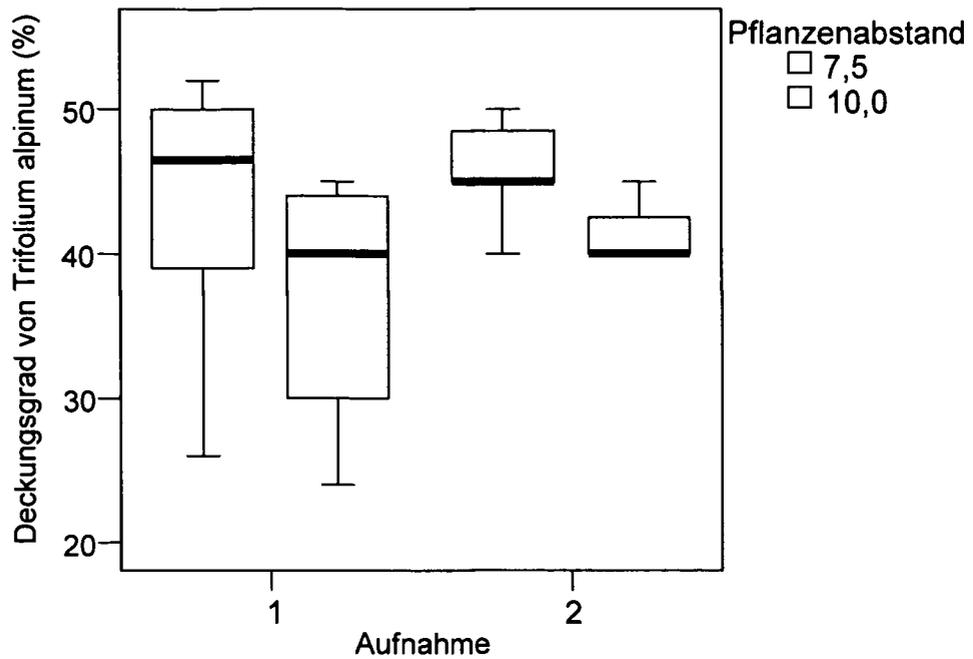


Abbildung 40: Lage und Streuung des Deckungsgrades von *Trifolium alpinum* im Pflanzenabstand von 7,5 cm und 10 cm zum ersten (September 2006) und zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau, n=8

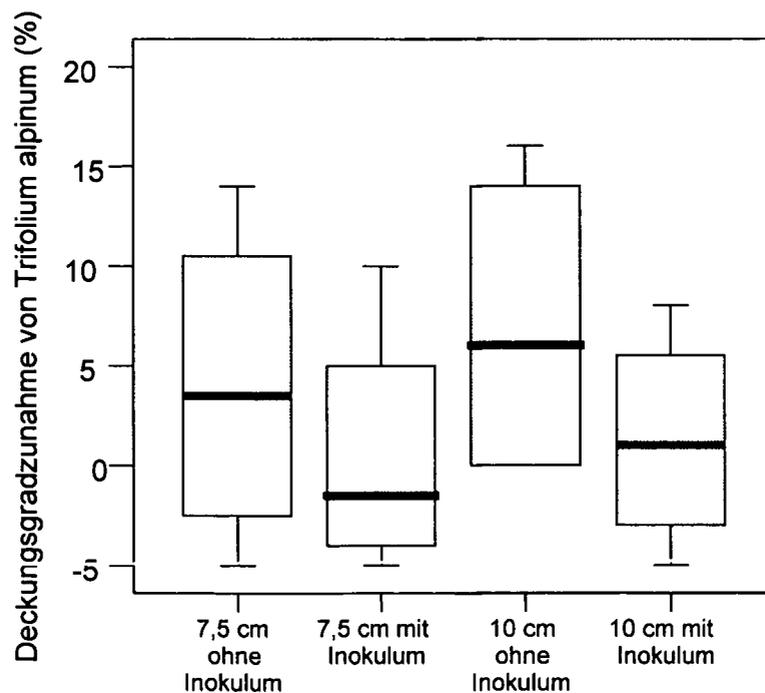


Abbildung 41: Lage und Streuung der Deckungsgradeszunahme von *Trifolium alpinum* im Pflanzenabstand von 7,5 cm und 10 cm mit oder ohne Zusatz von Erde Meran 2000 vom ersten (September 2006) zum zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau, n=4

Die Mittelwerte für den Deckungsgrad der Pflanzen in 7,5 cm Abstand in der Reihe liegen zwischen 41% und 47%. Für die Pflanzen mit 10 cm Abstand wurden mittlere Deckungsgrade zwischen 34% und 41% geschätzt. Die mittlere Zunahme liegt für die Kombinationen Inokulum (vorhanden, nicht vorhanden) und Pflanzenabstand (7,5 cm und 10 cm) zwischen 0,5 % und 7%.

#### 4.2.2.2. Deckungsgrad von Unkräutern

Zum Zeitpunkt der ersten Deckungsgradschätzung hatte der Block Auswirkungen auf die Unkräuter, d.h. in den Blöcken war die Unkrautdeckung unterschiedlich. Auch die zweite Aufnahme zeigte Unterschiede an Unkrautbedeckung unter den Blöcken. Dazu kamen signifikante Effekte für Inokulum \* Abstand (Tabelle 14).

Tabelle 14: Effekte auf den Deckungsgrad von Unkräutern zum ersten (September 2006) und zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau (ANOVA,  $p < 0,05$ ), sowie der Einfluss der Zeit über das eine Monat (ANCOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	erste Aufnahme			zweite Aufnahme		
	df	F	Sig.	df	F	Sig.
Inokulum	1	3,731	0,102	1	2,359	0,175
Abstand	1	0,199	0,671	1	0,791	0,408
Block	3	11,096	0,007	3	50,255	0,000
Inokulum * Abstand	1	0,886	0,383	1	8,007	0,030
Inokulum * Block	3	0,670	0,601	3	1,418	0,327
Zeit				1	137,947	0,000

Wird die Deckungsgraddifferenz der Aufnahmen analysiert, unterscheiden sich die Flächen mit und ohne Inokulum (Tabelle 15). Die Zeit hatte signifikante Auswirkungen auf die Zunahme des Deckungsgrades der Unkräuter (Bildreihe 17 im Anhang). Die Flächen, in denen Pflanzen mit Inokulum eingepflanzt wurden, verzeichneten zum ersten Aufnahmetermin eine durchschnittliche Unkrautzunahme von 22%. Flächen, die Pflanzen ohne Inokulat beinhalten, hatten eine mittlere Deckungsgradzunahme von 14%. Auf den Flächen mit engerem Pflanzenabstand wurde nicht weniger Unkrautdeckung beobachtet als auf jenen mit weiterem Pflanzenabstand.

Generell kann gesagt werden, dass sich die Unkrautbedeckung von der ersten zur zweiten Aufnahme von 20% auf 40% verdoppelt hat. Anfang Oktober bedeckten die

Unkrautpflanzen im Feldversuch etwa gleich viel Fläche wie die *Trifolium alpinum* – Pflanzen (Abbildung 42).

Tabelle 15: Effekte auf die Deckungsgraddifferenz von Unkräutern im Forstgarten Prettau, Oktober 2006 (ANOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	df	F	Sig.
Inokulum	1	8,087	0,029
Abstand	1	0,962	0,365
Block	3	1,285	0,362
Inokulum * Abstand	1	0,615	0,463
Inokulum * Block	3	0,080	0,968

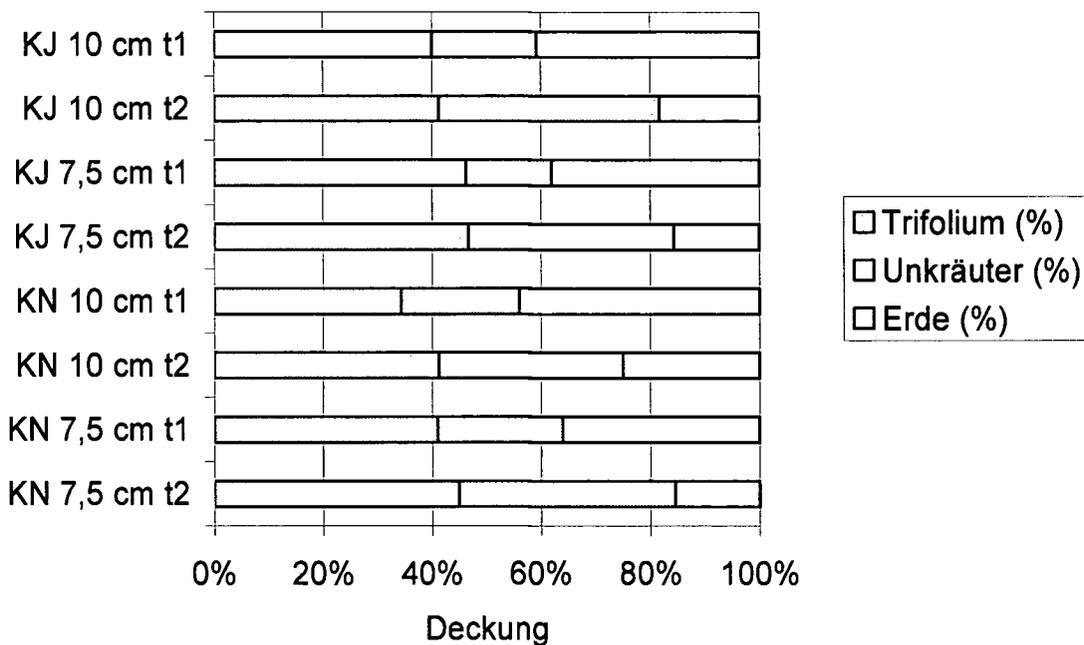


Abbildung 42: Deckungsgrad von Trifolium und Unkraut Pflanzen 46 Tage (t1) und 82 Tage (t2) nach der Ausspflanzung (September und Oktober 2006) im Forstgarten Prettau mit unterschiedlichem Pflanzenabstand (7,5 cm und 10 cm) mit (KJ) oder ohne (KN) Zusatz von Erde Meran 2000, Schätzung mit dem Schätzrahmen

#### 4.2.2.3. Horstdurchmesser der *Trifolium alpinum* - Pflanzen

Auf den Horstdurchmesser der *Trifolium alpinum* – Pflanzen hatte zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme das Inokulum Erde Meran 2000 und die Kombination von Inokulum \* Abstand signifikante Auswirkungen (Tabelle 16). Die Zeit hatte Einfluss auf die Zunahme des Horstdurchmessers. Der Zuwachs wurde durch das Inokulum beeinflusst (Tabelle 17).

Der maximale mittlere Durchmesser der Pflanzen beträgt 13,3 cm. Diese Größe erreichten Pflanzen, aus der Anzucht mit Inokulum im Pflanzenabstand von 7,5 cm gepflanzt (Tabelle 18). In der zweiten Aufnahme wurde bei diesen Pflanzen allerdings ein Rückgang des Durchmessers beobachtet.

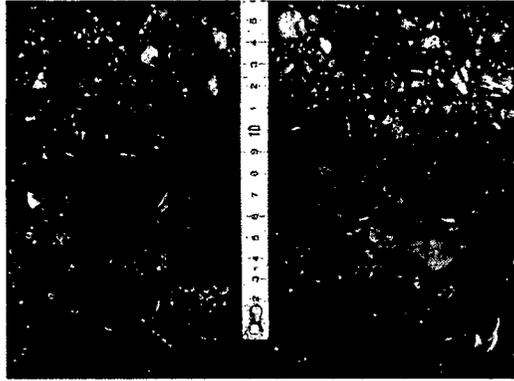


Abbildung 43: Messung des Maximalen Durchmessers einer Pflanze im Forstgarten Prettau, September 2006

Tabelle 16: Effekte der Faktoren Inokulum, Pflanzenabstand in der Reihe und Block auf den Horstdurchmesser von *Trifolium alpinum* zum ersten (September 2006) und zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau (ANOVA,  $p < 0,05$ ), sowie der Einfluss der Zeit über das eine Monat (ANCOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	erste Aufnahme			zweite Aufnahme		
	df	F	Sig.	df	F	Sig.
Inokulum	1	134,542	0,001	1	4,518	0,078
Abstand	1	0,689	0,438	1	5,585	0,099
Block	3	7,675	0,064	3	1,486	0,376
Inokulum * Abstand	1	6,620	0,042	1	2,089	0,198
Inokulum * Block	3	0,813	0,532	3	5,986	0,031
Zeit				1	5,354	0,031

Tabelle 17: Effekte auf den Zuwachs des Horstdurchmessers von *Trifolium alpinum* vom ersten (September 2006) zum zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau (ANOVA,  $p < 0,05$ )

Faktor	df	F	Sig.
Inokulum	1	10,179	0,019
Abstand	1	0,681	0,441
Block	3	0,828	0,525
Inokulum * Abstand	1	0,593	0,470
Inokulum * Block	3	1,422	0,326

Den geringsten Durchmesser von 9,4 cm verzeichneten bei der ersten Aufnahme Pflanzen ohne Inokulum bei einem Pflanzenabstand von 7,5 cm. Einen Monat später hatten diese Pflanzen im Vergleich zu den anderen Testpflanzen am meisten Zunahme am Horstdurchmesser. Die Veränderungen im Pflanzendurchmesser liegen bei maximal 1,7 cm und minus 1,7 cm (Abbildung 44).

Tabelle 18: Mittlerer Horstdurchmesser der *Trifolium alpinum* – Pflanzen nach Aufnahmezeitpunkt 1 (September 2006) und 2 (Oktober 2006) im Forstgarten Prettau

Inokulum Meran 2000	Pflanzenabstand	Aufnahme	Mittelwert (cm)	Standardabweichung	N
Ja	10 cm	1	12,8	2,362	40
		2	13,0	2,386	40
	7,5 cm	1	13,3	2,418	40
		2	12,8	3,611	40
Nein	10 cm	1	10,4	2,404	40
		2	11,6	2,177	40
	7,5 cm	1	9,4	1,889	40
		2	10,8	2,673	40

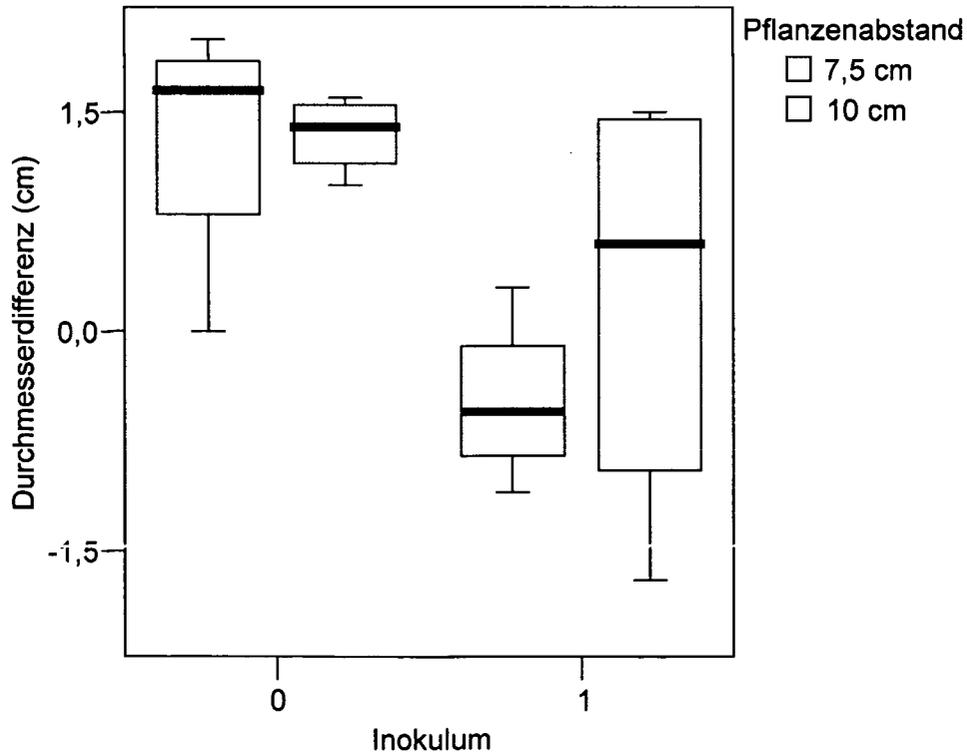


Abbildung 44: Lage und Streuung der Durchmesserdiffferenz vom ersten (September 2006) zum zweiten (Oktober 2006) Aufnahmeterrmin von *Trifolium alpinum* nach Pflanzenabstand mit (1) oder ohne (0) Zusatz von Erde Meran 2000 im Forstgarten Prettau, n=80

#### 4.2.2.4. Anzahl der *Trifolium alpinum* und Unkraut Pflanzen pro m<sup>2</sup>

Die Anzahl der *Trifolium* Pflanzen hatte sich in den für die Stichproben ausgewählten Deckungsgradaufnahmeflächen nicht verändert. Eine Pflanze in KJ 7,5 cm war in der zweiten. Aufnahme im Zuge der Durchmessererhebung als abgestorben beobachtet worden. Die Anzahl der Pflanzen pro m<sup>2</sup> hat sich so gut wie nicht verändert. Die Unkrautpflanzen haben in ihrer Größe stark zugenommen, kleinere Unkrautpflanzen waren dazugekommen. Da die Verunkrautung sehr weit fortgeschritten war konnte die Anzahl der Unkrautpflanzen in der zweiten Aufnahme nicht ermittelt werden.

Tabelle 19: Anzahl der *Trifolium alpinum* und Unkraut Pflanzen im Forstgarten Prettau pro m<sup>2</sup> zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme im September 2006

	KN 10 cm	KN 7,5 cm	KJ 10 cm	KJ 7,5 cm
Trifolium	61	80	63	75
Unkraut	297	324	254	296

Die in Reihensaat angesäten Pflanzen waren in hoher Anzahl aufgegangen und konnten in zweieinhalb Monaten einen Trieb mit bis zu sechs Laubblättern entwickeln.



Abbildung 45: 2,5 Monate alte *Trifolium alpinum* – Pflanzen aus der Ansaat im Feld hervorgegangen

### 4.2.3. Samenreife

Ein überraschendes Ergebnis hatte sich in Bezug auf das Blühen und die Samenbildung der *Trifolium alpinum*-Pflanzen ergeben. Einige Pflanzen blühten bereits in den Rootainer. Bis Anfang Oktober hatten von insgesamt 1680 Pflanzen 33 ein bis vier Blütenstände hervorgebracht. Davon waren 23 blühende Pflanzen von der Anzucht im Kultursubstrat mit Beigabe von Erde aus dem Schigebiet Meran 2000 und 10 von der ohne Beigabe hervorgegangen. Die Pflanzen bildeten Blütenstände mit bis zu 10 Einzelblüten aus.



Abbildung 46: Blühende *Trifolium alpinum* – Pflanze (links) und Fruchtstände beim Abreifen (rechts), Forstgarten Prettau, August und September 2006

Tabelle 20: Anzahl der Pflanzen mit und ohne Beigabe von Erde Meran 2000 von insgesamt 1680, die bis Oktober 2006 im Forstgarten Prettau blühten

Blühende Pflanzen	Ohne Beigabe von Erde Meran 2000		Mit Beigabe von Erde Meran 2000		Gesamt
	Ein Blütenstand	Mehr als ein Blütenstand	Ein Blütenstand	Mehr als ein Blütenstand	
	8	2	21	2	33

Zum Zeitpunkt der Hülsenentnahme am 8. Oktober konnten aus diesen Pflanzen 134 reife Samen geerntet werden. Einige Samen waren noch unreif gewesen. In der Größe besteht kein Unterschied zu den Samen aus dem natürlichen Herkunftsgebiet Meran 2000.

Der Keimversuch an den nicht skarifizierten Samen hat gezeigt, dass die Samen eine Keimruhe besitzen. Durch die wasserundurchlässige Samenschale fand kein Quellen des Saatgutes statt. Kein Same aus den 134 konnte über fünf Tage bei Zimmertemperatur keimen.

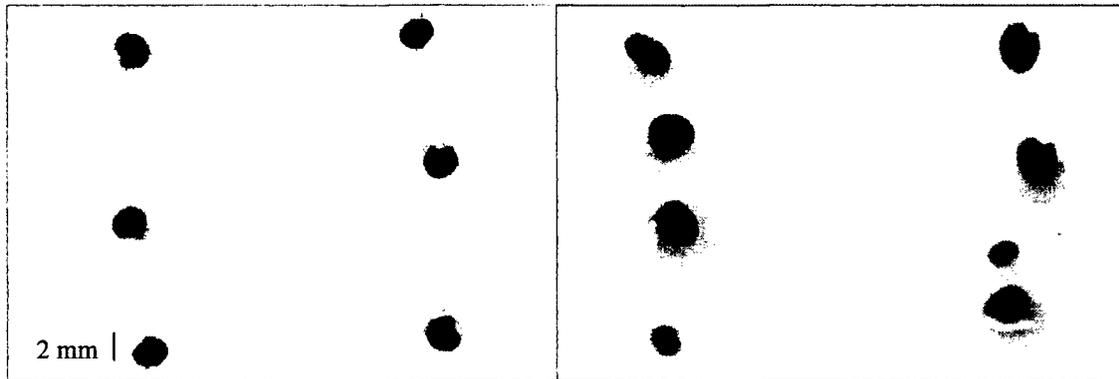


Abbildung 47: Samen aus dem ersten Keimversuch mit nicht skarifiziertem Saatgut (links) und Samen aus dem zweiten Keimversuch mit skarifiziertem Saatgut (rechts), Oktober 2006

Die Keimung der skarifizierten Samen erfolgte in wenigen Tagen. In fünf Tagen hatten 87% gekeimt. Der Großteil der Samen war lebensfähig und quoll nach Aufrauen der Samenschale, die Radicula konnte sich ausdehnen und die Samenschale durchbrechen.

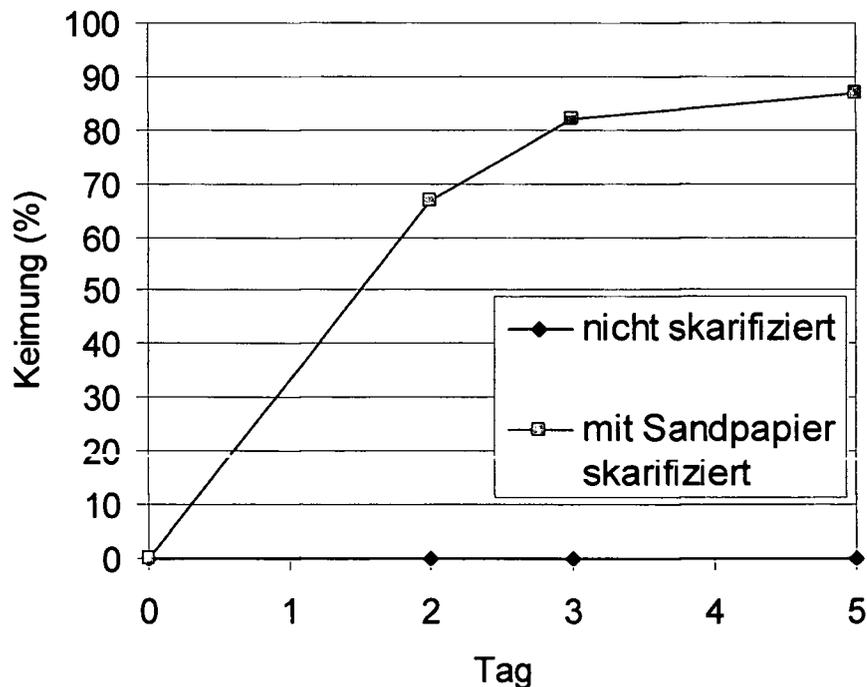


Abbildung 48: Keimung von nicht skarifiziertem und skarifiziertem Saatgut, das aus der Anzucht im Forstgarten Prettau im Oktober 2006 hervorgegangen war, bei Zimmertemperatur auf Filterpapier, 100% = 134 Samen

## 5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Bereits 1964 berichtet HEGI (in PERATONER 2003) über Versuche, *Trifolium alpinum* zu kultivieren, welche allerdings wiederholt scheiterten. PERATONER (2003) führte von 2000 bis 2002 Versuche zur Saatgutproduktion von *Trifolium alpinum* durch und konnte bestätigen, dass die Produktion dieser Alpenpflanze im Tiefland mit besonderen Schwierigkeiten verbunden ist. Durch seine Arbeiten konnte gezeigt werden, dass der Anbau von *Trifolium alpinum* auf allochthonen Böden möglich ist. Das starke Absterben der Pflanzen über den Zeitraum des Feldversuchs von PERATONER war hauptsächlich verursacht durch die Infektion von Nematoden *Pratylenchus* sp., welche in die Wurzeln eindringen, sich dort vermehren und dadurch die Pflanze zum Absterben bringen. Weitere Probleme bereiteten Pilze und das Schädigen der Pflanzen durch mechanische Unkrautkontrolle. Außerdem sind abiotische (physikalische und chemische Bodenbeschaffenheit, Klima) und biotische Faktoren (Bakterien) ausschlaggebend für den Erfolg oder Misserfolg der Produktion (PERATONER 2003). Das Schädlingsvorkommen, Boden und Klima unterscheiden sich in Tallagen drastisch zu den Bedingungen des natürlichen Herkunftsgebiets von *Trifolium alpinum*. Mit dem vorliegendem Feldversuch wird erwartet, dass durch die Anzucht in der montanen Stufe einige negative Faktoren wegfallen und erfolgreiche Schritte zur Saatgutproduktion von *Trifolium alpinum* gemacht werden können.

Alpine Gräser und Kräuter, von denen kein Saatgut im Handel erhältlich ist, können durch Heublumensaat oder Heudruschsaat, sowie durch Auspflanzung von Pflanzen, die in gärtnerischer Kultur vorgezogen wurden, erfolgen (FLORINETH 2004). Samen oder Graspflanzen werden händisch am natürlichen Standort gesammelt und in Roottrainer herangezogen bzw. durch Einzeltriebklonierung vermehrt, welche dann in die zu begrünenden Flächen als Jungpflanzen ausgesetzt werden (FLORINETH 1992). GALLMETZER (1995) konnte zeigen, dass auch *Trifolium alpinum* für eine gärtnerische Zwischenkultur geeignet ist. Eine Anzucht im Gewächshaus kann ab Ende Februar bis März erfolgen; eine Aussaat in Monaten mit kürzerer Tageslänge wäre eher ungünstig (ABRAHAM pers. Mitt.). Um eine schnelle und gute Keimung zu erreichen, müssen die Samen von *Trifolium alpinum* skarifiziert werden (FLORINETH & GALLMETZER 1996, GALLMETZER 1995, FLÜELER 1992, SCHÜTZ 1988).

GALLMETZER (1995) führte die Aussaat in Aussaatkisten durch und pikierete die Pflanzen dann in Roottrainer, welche ab einem Alter von 3 Monaten in Begrünungsflächen eingesetzt werden können. Die Anzucht in Roottrainer, die in der Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchsanstalt Laimburg durchgeführt wurde, war allerdings nicht zufrieden stellend gewesen, weil immer 50% bis 70% der Pflanzen zu Grunde gingen (ABRAHAM per. Mitt.). Die Anzucht in Roottrainer im Zuge des vorliegenden Versuchs erbrachte gegenteilige Ergebnisse, da kaum Pflanzen in den Roottrainer abstarben. Nicht desto trotz erfordert eine Vermehrung alpiner Pflanzen durch diese Methoden besonders viel Handarbeit, vom Sammeln des Vermehrungsmaterials bis zur gärtnerischen Anzucht bis hin zum Auspflanzen in der zu rekultivierenden Fläche. Auf der einen Seite ist diese Arbeit dementsprechend kostenaufwändig (FAHLSELT 1988, FLORINETH 1988 in PERATONER 2003) auf der anderen Seite, so betont FLORINETH (1992), umso wichtiger um eine standortgerechte Vegetation mit ihrer Diversität auf Hochlagen aufzubringen und einen dauerhaften Erosionsschutz zu erreichen.

Leider haben diese aufwändigen Methoden in der Praxis wenig Verbreitung gefunden, außer durch non-profit Einrichtungen, wie Universitäten und öffentliche Verwaltung (PERATONER 2003). Gelingt es hingegen, standortgerechtes Saatgut kostengünstig zu produzieren, in den Handel zu bringen und die Wichtigkeit des Einsatzes zu proklamieren, würde sich dies sehr positiv auf die Begrünungspraxis auswirken. Es muss gesagt werden, dass sich in der Saatgutproduktion von standortgerechtem Saatgut einiges getan hat und mittlerweile viel Alpinsaatzgut im Handel erhältlich ist (KRAUTZER 1996). *Trifolium alpinum* jedoch wird nicht produziert, welche als *Leguminosae* eine wichtige Komponente in Hochlagensaatzgutmischungen wäre. MEISTERHANS (1988, in SCHÜTZ 1988) erklärt, dass sich die Suche nach geeigneten Arten zur Entwicklung eines Saatgutes nicht ausschließlich auf Pioniere beschränken sollte, da auf vom Menschen geschaffenen Schuttflächen oft nicht nur typische Schuttpflanzen anzutreffen sind. Diese Arbeit ist ein weiterer Schritt auf dem Weg zur Produktion von Alpenklee, da der Einsatz von standortgerechtem Saatgut zur Wiederbegrünung in Hochlagen nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll und notwendig ist (KRAUTZER 1996). Durch den Einsatz standortgerechter Pflanzen mit Hochlagensaatzgut kann tendenziell im Vergleich zu

Handelsmischungen mit Niederungsgräsern eine deutlich bessere Narbendichte erreicht werden, außerdem bleiben sie ohne Düngung erhalten, was niedrigere Kosten mit sich bringt (KRAUTZER 1996).

Durch den Gefäßversuch konnte das Wachstum von *Trifolium alpinum* auf allochthonen Bodensubstraten geprüft werden und Beobachtungen zur Keim- und Jungpflanzenphase durchgeführt werden. Alle ausgewählten Bodensubstrate ermöglichten ein Wachstum für *Trifolium alpinum*. Die Erkenntnis von PERATONER (2003), dass eine Zugabe von autochthonem Erdmaterial das Wachstum der Pflanzen steigern kann, wurde nur zum Teil bestätigt. Im Kultursubstrat vermochte das Inokulum keine signifikante Förderung des Wachstums auszulösen. Das Kultursubstrat ermöglichte auch ohne Zusatz eine besonders schnelle Entwicklung der Pflanzenbiomasse. Das durchschnittliche Trockengewicht für alle mit Kultursubstrat angelegten Varianten betrug im Alter von 3,5 Monaten 880 mg. Das höchste mittlere Trockengewicht (670 mg) von 4 Monate alten Pflanzen aus den Versuchen von PERATONER (2003) wurde von Pflanzen aus der Erde Dammhaus, einem allochthonen Substrat mit Eigenschaften ähnlich denjenigen des autochthonen Substrats, mit Meran 2000-Zusatz erreicht. In der Erde Prad mit Zusatz wurden bei 3,5 Monate alten Pflanzen 446 mg mittleres Trockengewicht und in der Erde Prettau mit Zusatz nach knapp 4 Monaten 500 mg gemessen. Auch bei den Pflanzen, die in den Roottrainer für den Feldversuch herangezogen worden sind, wurde kein Unterschied im Trockengewicht zwischen inokulierten und nicht inokulierten Pflanzen festgestellt. Durch Anzucht in Roottrainer mit Kultursubstrat konnten für den Feldversuch sehr kräftige Pflanzen vorgezogen werden und somit ein Wachstumsvorsprung gegenüber den Unkrautpflanzen erreicht werden. PERATONER (2003) erwähnt, dass für die erfolgreiche Produktion von *Trifolium alpinum* bei Direktaussaat eine erhöhte Wachstumsrate erzielt werden müsste, damit nicht Unkraut überhand nimmt und der Reihenschluss so schnell als möglich stattfinden kann. PERATONER (2003) schlägt vor, dass ein erhöhtes Wachstum durch die Zugabe von Bodenorganismen, wie Rhizobien und Mycorrhiza erzielt werden und durch angemessene P-Verfügbarkeit verbessert werden könnte.

Soll eine Direktaussaat im Feld erfolgen, empfehlen KRAUTZER et al. (2004) ein feinkrümeliges Saatbeet mit kompaktem Oberboden. Die Ansaat kann in Streifen oder Drillsaat bei einer Saattiefe von 1,5 bis 2 cm durchgeführt werden. Die Reihenweite ist

mit 12 bis 25 cm zu wählen, abhängig von der Methode zur Unkrautbekämpfung. Um im darauf folgenden Jahr reife Samen ernten zu können, soll nach KRAUTZER et al. (2004) spätestens bis Ende Mai ausgesät werden. Es ist aber zu bemerken, dass es bis jetzt noch keine Erfahrungen mit der Ernte von flächigem Fruchtvorkommen gibt, da bei den Feldversuchen von PERATONER (2003) nur einzelne Pflanzen in der zweiten Vegetationsperiode am Leben waren, von denen nur 68% brühten. *Trifolium alpinum* benötigt nicht viele Nährstoffe. Alpine Pflanzen sind an die mageren Standorte in Hochlagen angepasst und starke Düngung kann deren Wachstum am Begrünungsstandort sogar beeinträchtigen (FLORINETH 1988). KRAUTZER et al. (2004) geben 15 bis 20 Tonnen/ha an Stallmist im Herbst vor der Aussaat im Feld als ausreichend an. Weiters empfehlen sie als mineralischen Dünger 40 bis 60 kg/ha an  $P_2O_5$  und 80 bis 100 kg/ha an  $K_2O$ , abhängig von der Bodenbeschaffenheit. Um die Entwicklung der Jungpflanzen zu fördern, kann bei Blanksaat, wie bei allen Leguminosen, 20 bis 30 kg/ha an N verwendet werden (KRAUTZER et al. 2004). Nach KRAUTZER et al. (2004) können sich direkt im Feld ausgesäte Pflanzen nur durch eine optimale Kombination von mechanischer und chemischer Unkrautkontrolle entwickeln, da die Art eine langsame Jugendentwicklung hat und dem Unkrautdruck ansonsten nicht standhalten kann.

Die Gefäßversuche haben gezeigt, dass die Erde Prettau für das Wachstum der Pflanze geeignet ist, es aber wachstumsfördernde Maßnahmen wie die Zugabe von autochthonem Substrat braucht, wenn direkt ausgesät wird, weil *Trifolium alpinum* generell langsam wächst und durch schnellwachsende Unkräuter bedrängt würde. Da die Pflanzen in Felderde eine zu geringe Wachstumsrate aufweisen, müsste überlegt werden, ob bei einer Produktion von *Trifolium alpinum* ein kostengünstiges Verfahren entwickelt werden könnte, welches das Auspflanzen von vorgezogenen Pflanzen ermöglicht. Im Feldversuch war ersichtlich, dass die ausgesetzten Pflanzen gut angewachsen waren und sie sich bis zum Ende der Beobachtungen, drei Monate nach Auspflanzung positiv entwickelten. Eine weitere Überlegung wäre, das Wachstum von im Feld ausgesäten Pflanzen durch die Beigabe von Kultursubstrat zu fördern, wobei auf die wachstumsfördernde Wirkung des Inokulums verzichtet werden könnte. FLÜELER (1992) konnte in seinen Labor und Feldversuchen zeigen, dass kommerzielles Substrat das Wachstum der *Trifolium alpinum* Pflanzen fördern kann.

Allerdings ist zu bedenken, dass die Zugabe von autochthoner Erde die Infektion mit Rhizobien bewirkt, was für eine erfolgreiche Entwicklung der Pflanze von großer Wichtigkeit ist. PERATONER (2003) schreibt, dass für eine Infektion in seinen Versuchen nur eine Schicht aus autochthonem Bodenmaterial erfolgreich war, das Mischen von Erde Meran 2000 mit anderen Bodensubstraten oder das Gießen mit Bodenextrakt brachte kaum oder gar keinen Erfolg. Für einen großflächigeren Anbau von *Trifolium alpinum* kann allerdings nicht autochthones Material in Mengen verwendet werden, der Abtrag von Erde aus dem Originalstandort wäre absolut widersinnig. Im Gefäßversuch wurden leichte Knöllchenbildungen auch in der Erde Prettau und im Kultursubstrat ohne Zusatz beobachtet. Es wäre möglich, dass in diesen Substraten Rhizobienbakterien, die mit *Trifolium alpinum* eine Symbiose eingehen können, bereits vorhanden sind. Mit hundertprozentiger Wahrscheinlichkeit kann das allerdings nicht gesagt werden, da trotz Vorsicht eine Übertragung von Bakterien von den inokulierten Varianten zu denen ohne Zusatz stattgefunden haben könnte. Könnte sicher gesagt werden, dass die hohe Ausbildung von Wurzelknöllchen in den Roottrainerpflanzen ohne Zusatz nur auf Bakterien im Kultursubstrat zurückzuführen ist, könnte eine Infektion durch Kultursubstrat anstelle von Erde aus Meran 2000 herbeigeführt werden. Da aber ein Transport der Roottrainerkisten nach Welsberg erfolgt war und dort die örtliche Separation der Kisten mit und ohne Zusatz nicht kontrolliert wurde, hätte eine Übertragung der Rhizobienbakterien stattfinden können. Um sicher zu gehen wären weitere Versuche von Nöten, wobei die Pflanzen mit und ohne Zusatz unter sterilen Laborbedingungen voneinander getrennt heranwachsen müssten.

Während des Gefäßversuchs und der Anzucht von Pflanzen in Roottrainer, welche im Tal auf 225 m. ü. d. M. stattgefunden hatten, konnte die Problematik des Schädlingsaufkommens erkannt werden. Die Verwendung des Kultursubstrats hatte den Nachteil, dass sich im Gewächshaus die Trauermücke entwickelt hatte. Das humose, aus Pflanzenfasern bestehende Kultursubstrat und die feuchten Bedingungen im Gewächshaus stellten optimale Bedingungen für die Vermehrung dieses Insekts dar. Die Larven ernähren sich von Pflanzenteilen und fressen auch die Wurzeln der Pflanzen ab (GREENWOOD & HALSTEAD 1998). Gegen das Auftreten dieses Schädlings wurde dadurch vorgegangen, die Pflanzen ins Freie zu stellen und die Erde austrocknen zu lassen. In den Topfpflanzen wurden auch Mehltau, Rote Spinne, Raupen und Läuse

beobachtet. Mit welchen Schädlingen im Feldversuch auf 1.600 m ü. d. M. zu rechnen ist, kann noch nicht gesagt werden. Die Nematoden der Gattung *Pratylenchus* stellen eine Gefahr für die Alpenkleepflanzen dar, deshalb muss der Boden absolut frei von diesen Parasiten sein, da sonst mit einem Totalausfall zu rechnen ist (KRAUTZER et al. 2004).

Die Ergebnisse der Keimungsversuche und der Untersuchungen der Jungpflanzenentwicklung können mit denen anderer Autoren verglichen werden. Die hohe Keimung von skarifizierten *Trifolium alpinum* Samen konnte auch bei vorliegendem Versuch erreicht werden. Autoren, die Keimversuche durchgeführt hatten, wiesen auf die hohe Keimfähigkeit von skarifizierten Trifolium Samen unter kontrollierten Bedingungen hin. Im Gewächshausversuch von WEILENMANN (1981) keimten nichtskarifizierte *Trifolium alpinum* Samen nach 100 Tagen nur zu 30 %, skarifizierte Samen keimen bereits nach 10 Tagen zu 100%. FLÜELER (1992) konnte ebenfalls den Unterschied in der Keimung von skarifizierten und nichtskarifizierten Samen zeigen: unbehandelte Samen keimten über 100 Tage zu 20%, skarifizierte zu 100%. Auch der Saataufgang im Gelände in hohen Lagen konnte bei FLÜELER (1992) durch eine Skarififikation deutlich erhöht werden, allerdings starben in den Wintermonaten viele Jungpflanzen ab. Ähnliche Beobachtungen machte SCHÜTZ bereits 1988. In seinem Versuch keimten 24-33% der skarifizierten *Trifolium alpinum* Samen auf Silikat in alpinem Gelände nach 10 Tagen. Den ersten Winter überlebten allerdings nur 1-2% der Individuen. Aussaatversuche von GÖGELE (2005) auf Meran 2000 haben ebenfalls die hohe Sterblichkeit von Alpenkleejungpflanzen, sei es für behandeltes, sei es für unbehandeltes Saatgut, gezeigt. Im Feldversuch in Prettau wurden skarifizierte Samen ausgesät und keimten sehr gut. Wie viele der ausgesäten Jungpflanzen den Winter auf 1.600 m ü. d. M. überleben, bleibt eine spannende Frage.

Die Entwicklung der Jungpflanzen im Gefäßversuch und aus der Anzucht in Roottrainer war sehr positiv verlaufen. Im Gefäßversuch starben außer in der Variante Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser aus der zweiten Versuchsserie relativ wenig Pflanzen ab, auch in den Roottrainer konnten kaum Ausfälle beobachtet werden. Nach WEILENMANN (1981) beeinflusst der Bodenchemismus die Keimung von *Trifolium alpinum* nicht, die Jungpflanzenentwicklung hingegen schon. KINZEL (1982) schreibt, dass es zwar die Wirkung von pH-Wert und diversen chemischen

Bodenfaktoren auch auf Keimvorgänge von Pflanzen und auf die adulte Pflanze gibt, aber ein Maximum an Sensitivität in einem frühen Stadium der Keimlingsentwicklung vorhanden ist. Mit dieser Aussage kann die Beobachtung aus vorliegendem Versuch übereinstimmen, wobei ein Absterben der Pflanzen immer vor oder im Vierblatt-Stadium erfolgte. Bei der Anzucht von *Trifolium alpinum* hatten auch die Eigenschaften des Gießwassers Effekte auf die Trockensubstanz der Pflanzen. Der Gefäßversuch hat gezeigt, dass das Wachstum von Pflanzen, die mit sehr kalkhaltigem Wasser gegossen wurden, gegenüber jenen, die mit Regenwasser versorgt wurden, geringer war. Das Leitungswasser hemmte zwar das Wachstum, führte aber nicht zu vermehrten Ausfällen gegenüber den mit Regenwasser gegossenen Varianten. Auswirkungen von Kalk auf die Pflanzen stellte auch WEILENMANN (1981) fest. Ihre Versuche *Trifolium alpinum* auf Karbonatboden (standortfremder Boden) wachsen zu lassen haben gezeigt, dass sich die Pflanzen in Vitalität und Größe von jenen auf Silikatboden (standorteigener Boden) im negativen Sinn stark unterschieden. In diesem Zusammenhang steht auch der Einfluss des pH-Werts auf das positive Wachstum von *Trifolium alpinum*. KRAUTZER et al. (2004) betonen, dass *Trifolium alpinum* sehr spezielle Ansprüche an den Vermehrungsstandort hat. Der empfohlene pH-Wert liegt nach KRAUTZER et al. (2004) im Bereich zwischen 4,5 und 5,4. Werden die pH-Werte der im Versuch verwendeten Substrate mit diesen Richtwerten verglichen, liegt das Kultursubstrat mit einem pH von 5,7 knapp über dem empfohlenen Bereich. Der pH-Wert von 7,2 der Erde Prad wäre für die Anzucht von *Trifolium alpinum* demnach sehr hoch. Die Erde Prettau mit einem pH von 5,6 würde im günstigsten Bereich für die Anzucht von Alpenklee liegen. Allerdings ist der Schluss vom pH-Wert auf den Wachstumserfolg einer Pflanze nicht ein einfacher. Denn auch Pflanzen in der Erde Prad (pH 7,2) konnten bis zum Versuchende gedeihen und nur Pflanzen in der Erde Prad mit Leitungswasser gegossen wuchsen kümmerlich heran. „Die Konzentration an Wasserstoffionen und die allgemeine Nährstoffversorgung, die vielfältigen Wirkungen des  $\text{CaCO}_3$  und des  $\text{MgCO}_3$ , die Versorgung mit K, N, P, und den Mikronährstoffen, die Wirkung der toxischen Ionen  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , und zuweilen auch  $\text{Fe}^{2+}$  sind alle an den beobachteten Erscheinungen beteiligt“ (KINZEL 1982). Die Reaktion der Produktivität auf sich ändernde Bedingungen ist nach Pflanzenart sehr verschieden. Während eine unter Optimalbedingungen hochproduktive Art durch belastende Bedingungen sehr drastisch gehemmt werden kann, reagieren andere vielleicht unter Optimalbedingungen weniger

produktive Arten auf sinkende Standortqualitäten weniger stark (KINZEL 1982). Die wissenschaftliche Forschung hat bisher nur wenige Zusammenhänge zwischen Bodenacidität und Nährstoffinhalten sichtbar gemacht, z.B. das Zustandekommen des Syndroms der „Kalkchlorose“ (KINZEL 1982). Der negative Effekt eines zu hohen pH-Wertes für *Trifolium alpinum* könnte eine Abnahme des Mn-Gehalts und die erhöhte Anreicherung an CaCO<sub>3</sub> sein, welche unter anderem zu Chloroseerscheinungen führen können. Kalkhaltiges Leitungswasser würde die Anreicherung von CaCO<sub>3</sub> noch verstärken.

Auf die Keimung und allgemeine Vitalität hatte das Wasser für die meisten Pflanzen keine ersichtliche Wirkung. Im Gefäßversuch und in den Roottrainer konnte sehr hohes Keimlingsaufkommen bei geringer Jungpflanzenmortalität beobachtet werden. In den Versuchen von GALLMETZER (1995) starb ein erheblicher Teil der Keimlinge ab, obwohl die Keimungsraten meist über 50% gelegen hatten. ABRAHAM (pers. Mitt.) vermutete, dass hartes Leitungswasser Ursache für vermehrtes Jungpflanzenabsterben sein könnte. Diese Vermutung konnte mit vorliegendem Versuch nicht bestätigt werden, da die Biomassenproduktion zwar geringer, aber das Überleben der Pflanzen nach unterschiedlichem Gießwasser gleich war. Möglicherweise hatte die Methode zur Jungpflanzenanzucht eine Rolle gespielt. In den vergleichbaren Versuchen wurden die Samen zuerst in Saatschalen ausgesät und dann in Roottrainer pikiert. Im vorliegenden Versuch wurde so vorgegangen, dass direkt in den Roottrainer mit je drei Samen ausgesät wurde und überschüssige Pflanzen entfernt wurden ohne die bestehende Pflanze umzusetzen. Das Pikieren könnte möglicherweise schädlich für die Pflanzen sein, da die Feinwurzeln durch das Umsetzen beschädigt werden könnten. Durch das hohe Keimlingsaufkommen kann für eine gärtnerische Anzucht weniger Samen pro Roottrainierzelle verwendet werden oder überhaupt nur ein Samen eingesetzt werden. Die Aussaat könnte sicher maschinell erfolgen und somit das aufwendige Verfahren durch Handarbeit automatisiert werden.

Für den Feldversuch wurden die fünf Monate alten *Trifolium* Pflanzen aus den Roottrainer am 19. Juli in die Beete in Prettau eingepflanzt. Die zwei Deckungsgradaufnahmen konnten belegen, dass die Zugabe von Erde aus Meran 2000 zum Kultursubstrat keinen Wachstumsvorsprung bewirkte. Im Feldversuch waren kaum Pflanzen bis zum Oktober zugrunde gegangen und die ausgesäten Pflanzen hatten einen

Trieb mit bis zu sechs Laubblättern hervorgebracht. Im Vergleich zu den fünf Monate alten Rootainerpflanzen, die GALLMETZER (1995) in seinem Versuch in einem Gemisch von handelsüblicher Blumenerde, Aushuberde und Sand durchgeführt hatte, welche ein mittleres Trockengewicht von ca. 0,2 Gramm erreichten, waren die Pflanzen in reinem Kultursubstrat auf 0,8 Gramm Trockengewicht bei höherem Sprossanteil herangewachsen. Durch die Anzucht in Rootainer mit Kultursubstrat konnte eine Pflanzengröße vorgezogen werden, die bei einigen Pflanzen bereits in der ersten Vegetationsperiode ein Blühen und Fruchten ermöglichte, da die Pflanze ein Minimum an Größe erreicht haben muss, bevor eine Reproduktion stattfindet (SAMSON & WERK 1986 in PERATONER 2003). HASLER (1992) nennt als minimales Entwicklungsstadium für das Blühen von *Trifolium alpinum* die Ausbildung von sechs Trieben. In alpinen Hochlagen erreichen die Pflanzen erst ab dem vierten Lebensjahr eine derartige Größe (HASLER 1992). Das Auspflanzen der Rootainerpflanzen hatte Mitte Juli stattgefunden. Vermutlich hätte ein vermehrtes und früheres Blühen und besseres Reifen der Samen stattgefunden, wenn die Pflanzen bereits im Juni ausgesetzt worden wären, da den Pflanzen schon früher mehr Platz für ihre Entwicklung zur Verfügung gestanden hätte.

Die Aufnahme des Deckungsgrades der Bereiche, die sich durch Anzucht mit oder ohne Inokulum, Pflanzenabstand in der Reihe und Position im Beet unterscheiden, hat vom Monat September zu Oktober keine wesentliche Zunahme an Deckung gezeigt. Das heißt aber nicht, dass sich die Pflanzen im Feld generell wenig weiterentwickelt haben. Das Wachstum erfolgte vermehrt im August und kann durch Fotos belegt werden (Anhang Bildreihe 16), da keine Deckungsgradaufnahme zum Auspflanzungszeitpunkt vorgenommen wurde. Welcher Pflanzenabstand ein schnelleres Schließen der Reihen, bei optimaler Entfaltung der Pflanzen und geringerem Unkrautauflaufen zur Folge hat, kann bis zu diesem Zeitpunkt der Beobachtungen nicht gesagt werden. Der Pflanzenabstand von 10 cm, bei dem Pflanzenmaterial gespart werden kann, hat in Bezug auf den Reihenschluss und die Verunkrautung keinen Nachteil gegenüber dem 7,5 cm Abstand.

Die Unkräuter wuchsen im Vergleich zu *Trifolium alpinum* schneller heran, was durch die Datenauswertung der Aufnahmen belegt ist. Drei Monate nach der Auspflanzung war ein Jäten der Unkräuter notwendig. In den Blöcken betrug die Unkrautdeckung

zwischen 25% und 50% der Fläche. In Bezug auf die unterschiedlich enge Pflanzung wurde keine stärkere bzw. schwächere Verunkrautung festgestellt. Das händische Jäten ergab einen durchschnittlichen Arbeitsaufwand von 25 Minuten pro Person für eine Fläche von einem m<sup>2</sup>. Die Gesamtfläche beträgt 27 m<sup>2</sup>. Da diese händische Arbeit sehr teuer kommt, müssten weitere Versuche über die Verträglichkeit der mechanischen Unkrautkontrolle für einen großflächigeren Anbau von *Trifolium alpinum* durchgeführt werden. Dabei wäre interessant, ob die Pflanzengröße ausschlaggebend für einen erfolgreichen Einsatz von Maschinen ist und wenn ja, kann diese durch Anzucht in Rootainer herbeigeführt werden und so durch Einpflanzen starker Pflanzen im Feld eine maschinelle Unkrautkontrolle ermöglichen.

Die positive Entwicklung der Pflanzen im Kultursubstrat und im Feld zeigen auch die Messungen an Pflanzenhöhe und Horstdurchmesser. Die Pflanzen vom Gefäßversuch konnten in 108 Tagen mittlere Höhen zwischen 10 cm und 12 cm erreichen. Der Durchmesser für die sechs Monate alten Pflanzen im Feld betrug zwischen 9 cm und 13 cm. WEILENMANN (1981) konnte für Pflanzen, die auf Silikat herangezogen wurden, nach 160 Tagen eine Höhe von 13 cm und einen Durchmesser von 15 cm verzeichnen. Der geringere Durchmesser bei höherem Pflanzenalter, im Vergleich zu den von WEILENMANN herangezogenen Pflanzen, ist auf die enge Anordnung der Pflanzen durch die Rootaineranzucht zurückzuführen. Für die Topfpflanzen wurde der Horstdurchmesser nicht erhoben. Der Durchmesser der *Trifolium alpinum* – Pflanzen hatte im Feld zugenommen, der Deckungsgrad aber nicht signifikant, was darauf schließen lässt, dass im Monat September zwar ein Wachstum der Blättern stattgefunden, aber kein vermehrter Austrieb neuer Blätter stattgefunden hat.

Einige Pflanzen aus dem Feldversuch konnten bereits in der ersten Vegetationsperiode blühen und reife Samen hervorbringen. Die Samengröße unterschied sich nicht augenscheinlich von jenen, die Pflanzen im natürlichen Herkunftsgebiet hervorbringen. Untersuchungen diverser Autoren haben für Samen aus natürlichen Verbreitungsgebieten ein Tausendkorngewicht um die 5 Gramm bestimmt. Das Tausendkorngewicht der Samen aus Meran 2000, welches für die Anzuchtversuche verwendet wurde, liegt ebenfalls bei 5 Gramm. Das Samengewicht dürfte in den Wildpopulationen relativ konstant sein (PERATONER 2003). FLÜELER (1992) und PERATONER (2003) beobachteten allerdings in ihren Anzuchtversuchen eine

Verminderung der Samengröße in Tallagen. FLÜELER (1992) erklärt, dass größere Leguminosensamen besser keimen als kleine. Unbehandelte *Trifolium alpinum* Samen keimen, obwohl die unter den Leguminosenarten sehr große Samen besitzen, schlecht. Innerhalb der Art keimen allerdings größere Samen leichter (FLÜELER 1992).

Die Ergebnisse des Keimversuchs für die aus der Anzucht hervorgegangenen Samen konnten zeigen, dass die im Feldversuch produzierten Samen höchst lebensfähig sind. Auch PERATONER (2003) berichtet von einer sehr hohen Keimfähigkeit skarifizierter Samen aus einer Tieflandproduktion. Das Keimverhalten nicht skarifizierter Samen bleibt gering. FLÜELER (1992) beobachtete gegenteiliges Keimverhalten von Samen aus Versuchsgärten im Tal, welche nicht so gut keimten, wie jene aus dem natürlichen Herkunftsgebiet. Weitere Versuche werden in der zweiten Vegetationsperiode stattfinden und genaueren Aufschluss über das Samengewicht und Keimverhalten, der auf 1.600 m ü. d. M. hervorgegangenen Samen, geben.

Samenmischungen sollten verschiedene Samentypen enthalten, die zu unterschiedlichen Zeiten keimen: Samen die sofort nach der Aussaat keimen und solche die über mehrere Jahre verteilt keimen (SCHÜTZ 1988). *Trifolium alpinum* Samen würden unbehandelt aufgrund ihrer angeborenen Keimruhe über mehrere Jahre verteilt keimen. Fällt die Notwendigkeit der Skarifikation für eine erfolgreiche Begrünung mit *Trifolium alpinum* weg, so könnten Kosten gesenkt werden (PERATONER 2003). PERATONER (2003) vermutet, dass die mechanische Reinigung der Samen einer Skarifikation nahe kommt, so könnte die Keimruhe des Saatgutes zum Teil gebrochen werden, aber trotzdem die zeitversetzte Keimung erfolgen, welches die Überlebensrate aller aus den Samen hervorgehenden Jungpflanzen erhöhen würde, ohne einen zu langsamen Saataufgang von Alpenklee in der Saatgutmischung zu haben und einen Samenverlust z.B. durch Ausschwemmung oder Tierfraß zu verzeichnen. Aus den Versuchen von FLÜELER (1992) kann entnommen werden, dass die Mortalität der skarifizierten Samen höher war als jene der unbehandelten, da bei Abschluss der Untersuchungen auf den Flächen mit nicht skarifiziertem Saatgut eine höhere Überlebensrate verzeichnet werden konnte. GÖGELE (2005) hingegen erwähnt in ihren Begrünungsversuchen keinen signifikanten Unterschied im Aufkommen der Pflanzen mit und ohne Skarifikation. Der Grund für vermehrtes Absterben von Keimlingen, die aus skarifizierten Samen hervorgegangen waren, könnte sein, dass alle skarifizierte Samen bei Feuchtigkeit sofort keimen und

deshalb bei Verschlechterung der Bedingungen alle betroffen sind (FLÜELER 1992). Bei unvollständiger Skarifikation durch mechanische Reinigung würde ein Teil der Samen hingegen mögliche ungünstige Umstände im Keimruhezustand überdauern und unter optimalen Bedingungen keimen.

Durch vorliegende Arbeit konnten weitere Erkenntnisse über die Samenproduktion von *Trifolium alpinum* gewonnen und Möglichkeiten einer Anzucht- und Produktion erprobt werden. Der Feldversuch wird über die nächsten Jahre noch spannende Ergebnisse liefern. Vielleicht wird es wirklich gelingen, auf größeren Flächen die alpine Pflanze *Trifolium alpinum* anzubauen und der Alpenklee als wichtige Komponente in Hochlagensaatgutmischungen zu verwenden.

---

## 6. LITERATURVERZEICHNIS

ADLER, W., K. OSWALD & R. FISCHER. 1994. *Exkursionsflora von Österreich*. Stuttgart & Wien: Verlag Eugen Ulmer.

ALEXANDER, M. 1984. Ecology of Rhizobium. In *Biological nitrogen fixation. Ecology, technology and physiology*, ed. M. Alexander, 39-50. New York: Plenum Press.

ARNONE III, J.A. 1999. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation in high Alpine grassland: effects of four growing seasons of elevated CO<sub>2</sub>. In *Functional Ecology*, 13:383-387.

BÜHL, A. & P. ZÖFEL. 2005. *Spss 12. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. 9. Auflage. München: Pearson Studium.

CHAMBERS, J. C. 1989. Seed viability of alpine species: variability within and among years. In *Journal of Range Management*, 42: 304-308.

DIETL W. & M. JORQUERA. 2003. *Wiesen- und Alpenpflanzen*. Leopoldsdorf & Zürich: Agrarverlag & FAL Reckenholz.

ELLENBERG, H. 1996. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. 5. Auflage. Stuttgart: Ulmer Verlag.

FINKENZELLER X: & J: GRAU. 1985. *Alpenblumen*, ed. G. Steinbach München: Mosaik Verlag.

FLORINETH, F. 1988. Begrünungen von Erosionszonen über der Waldgrenze. In *Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbiologie*, 78-93. Aachen: Sepia Verlag.

FLORINETH, F. 1992. Hochlagenbegrünung in Südtirol. In *Rasen Turf Gazon*, Heft 3: 74-80.

FLORINETH, F. 2004. *Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik*. Berlin/Hannover: Patzer Verlag.

FLÜELER, R. P. 1992. Experimentelle Untersuchungen über Keimung und Etablierung von alpinen Leguminosen. *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel*, 110. Heft. Zürich.

FOSSATI, A. 1980. Keimverhalten und frühe Entwicklungsphasen einiger Alpenpflanzen. *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübe*, 73. Heft. Zürich.

GALLMETZER, W. 1995. *Keimverhalten alpiner Kräuter*. Diplomarbeit an der Universität Innsbruck.

GALLMETZER, W & F. FLORINETH. 1996. Untersuchungen des Keimverhaltens alpiner Kräuter für Hochlagenbegrünung. In *Rasen Turf Gazon*, Heft 1: 4-18.

GÖGELE, F. 2005. La tutela della montagna in Alto Adige. Cura e mantenimento dell'assetto idrogeologico dei pascoli dell'alto bacino del Rio Sinigo a Merano 2000 (BZ). Tesi di Laurea dell' Università degli Studi di Padova.

GREENWOOD, P. & A. HALSTEAD. 1998. *Dumont's Großes Gartenhandbuch. Schädlinge & Krankheiten*. Köln: DuMont Buchverlag.

HANSEN, A. P. 1994. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation of crop legumes. Achievements and Perspectives. Weikersheim: Margraf Verlag.

HASLER, A. R. 1992. Experimentelle Untersuchungen über klonal wachsende alpine Leguminosen. *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel*, 111. Heft. Zürich.

JACOT, K. A., A. LÜSCHER, J. NÖSBERGER & U. A. HARTWIG. 2000. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation of various legume species along an altitudinal gradient in the Swiss Alps. In *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 1043-1052.

KEES, H. & E. BEER, W. GARBURG, G. MEINERT, J. MEYER, M. RESCHKE, J. SCHMIDT. 1984. *So bekämpft man Unkraut auf Acker- und Grünland*. 4. Auflage. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH.

KINZEL, H. 1982. *Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

KÖHLER, W., G. SCHACHTEL & P. VOLESKE. 1996. *Biostatistik. Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler*. 2. Ausgabe. Berlin: Springer Verlag.

KÖRNER, Ch. 2003. *Alpine Plant Life – Funktional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2<sup>nd</sup> Edition. Berlin: Springer-Verlag.

KRAUTZER, B. 1996. Einsatz standortgerechter Alpin-Saatgutmischungen für Begrünungen im Gebirge. In *Internationales Symposium Interpraevent 1996 – Garmisch-Partenkirchen Tagungspublikation*, ed. Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Band 5: 145-154. Villach: Kreiner Druck.

KRAUTZER, B., H. WITTMANN & F. FLORINETH. 2000. *Richtlinie für standortgerechte Begrünungen*. Irdning: Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (ÖAG).

KRAUTZER; B., G. PERATONER & F. BOZZO. 2004. *Site Specific Grasses and Herbs – Seed production and use for restoration of mountain environments*. Plant Production and Protection Series No.32. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

MERTZ, P. 2000. *Pflanzengesellschaften Mitteleuropas und der Alpen*. Landsberg/Lech: ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co.KG.

PERATONER, G. 2003. *Organic seed propagation of alpine species and their use in ecological restoration of ski runs in mountain regions*. Kassel: Kassel University Press.

PIGNATTI, S. 1982. *Flora d'Italia*. Volume primo. Bologna: Edagricole – Edizione Agricole della Calderini s.r.l.

REEDER, J. D. 1990. Nitrogen cycling in disturbed lands. In *Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 9*. Colorado Water Resources Research Institute Information Series 63, ed. W.R. Keammerer and J. Todd, 122-137. Fort Collins.

SCHAUERER, T. & C. CASPARI. 1975. *Flora e fauna delle Alpi*. Verona: Arnoldo Mondadori Editore.

SCHIECHTL, H. M. 1972. Probleme und Verfahren der Begrünung extremer Standorte im Voralpen- und Alpenraum. In *Rasen Turf Gazon*, Heft 1: 1-6.

SCHÜTZ, M. 1988. Genetisch-ökologische Untersuchungen an alpinen Pflanzenarten auf verschiedenen Gesteinsunterlagen: Keimungs- und Aussaatversuche. *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel*, 99. Heft. Zürich.

TAPPEINER, U. 1996. Ökologie des alpinen Rasens – Grenzen der Begrünung. In *Rasen Turf Gazon*, Heft 2: 36-40.

TREMP, H. 2005. Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

URBANSKA, K. M. 1989. Probleme des biologischen Erosionsschutzes oberhalb der Waldgrenze. In *Zeitschrift für Vegetationstechnik*, 12: 25-30.

WEILENMANN, K. 1981. Bedeutung der Keim- und Jungpflanzenphase für alpine Taxa verschiedener Standorte. In *Berichte des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel*, 48: 68-119. Zürich.

YOUNG, T. P., D. A. PETERSEN & J. J. CLARY. 2005. The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. In *Ecology Letters*, 8: 662-673.

## 7. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: <i>Trifolium alpinum</i> , Alpenklee (Quelle: SCHRÖTER 1888 in KRAUTZER et al. 2004).....	5
Abbildung 2: Samen von <i>Trifolium alpinum</i> (Quelle: KRAUTZER et al. 2004) .....	7
Abbildung 3: Alpine Pflanzengesellschaft mit <i>Trifolium alpinum</i> im Schigebiet Meran 2000/Hafling.....	15
Abbildung 4: Herkunftsgebiet der für den Versuch verwendeten Samen, Schigebiet Meran 2000/Hafling .....	15
Abbildung 5: Behälter mit keimenden Samen.....	16
Abbildung 6: Ergebnisse des 7-tägigen Keimversuchs von Samen aus den Erntejahren 2003 und 2005, (ed. Manuel PRAMSOHLER).....	17
Abbildung 7: Material zum Skarifizieren (Foto: G. Peratoner).....	18
Abbildung 8: Einlegen der Samen in die Töpfe (links) und Anordnung der Behandlungen im Gewächshaus Laimburg (rechts), Februar 2006 .....	19
Abbildung 9: Unterschied zwischen Jungpflanze mit grünen Blättern 3,5 Wochen alt (links) und gelben Blättern 5 Wochen alt (rechts), Gewächshaus Laimburg 2006.....	20
Abbildung 10: Getrocknete <i>Trifolium alpinum</i> – Pflanze, geteilt in ober- und unterirdische Biomasse, im Versuchszentrum Laimburg, Juni 2006 .....	21
Abbildung 11: Keimungsverlauf der zehn Behandlungen über 18 Tage im Gewächshaus Laimburg, Februar/März 2006, 100% = 45 Keimlinge .....	25
Abbildung 12: Entwicklungsstadien von <i>Trifolium alpinum</i> : Keimblätter, Primärblatt, dreizähliges Laubblatt, sowie Wurzelverfärbung an einer Pflanze aus der Erde Prad, Gewächshaus Laimburg 2006 .....	26
Abbildung 13: Mittlere Anzahl der grünen Laubblätter pro Behandlung, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen in der Laimburg von März bis Juni 2006, n=15, außer PNR und PNL ab dem 66. Tag n=13 .....	27
Abbildung 14: Mittlere Anzahl der toten und gelben Laubblätter pro Behandlung, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen in der Laimburg von März bis Juni 2006, n=15, außer PNR und PNL ab dem 66. Tag n=13 .	28
Abbildung 15: Mittlere Anzahl der oberirdischen Triebe pro Variante, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen in der Laimburg von März bis Juni 2006, n=15, außer PNR und PNL ab dem 66. Tag n=13 .....	29
Abbildung 16: Keimungsverlauf der zehn Behandlungen über 9 Tage in der Laimburg im Juni 2006, 100% = 45 Keimlinge.....	29

Abbildung 17: Mittlere Anzahl der grünen Laubblätter pro Behandlung, Wachstum über 118 Tage, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen in der Laimburg von Juni bis Oktober 2006, n=15, außer PrNL 66 Tage n=13 und ab 85 Tage n=12, ML ab 85 Tage n=14, MR 85 Tage n=11 118 Tage n=10 ..... 30

Abbildung 18: Mittlere Anzahl der toten und gelben Laubblätter pro Behandlung, Wachstum über 108 Tage, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen in der Laimburg von Juni bis Oktober 2006, n=15, außer PrNL 66 Tage n=13 und ab 85 Tage n=12, ML ab 85 Tage n=14, MR 85 Tage n=11 118 Tage n=10 ..... 31

Abbildung 19: Mittlere Anzahl der oberirdischen Triebe pro Variante, Zählungen erfolgten im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen in der Laimburg von Juni bis Oktober 2006, n=15, außer PrNL 66 Tage n=13 und ab 85 Tage n=12, ML ab 85 Tage n=14, MR 85 Tage n=11 118 Tage n=10 ..... 32

Abbildung 20: Mittlere relativer Zuwachs an Höhe (RZH) pro Behandlung, Messungen erfolgten im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 85 und 108 Tagen in der Laimburg von März bis Juni 2006, n=15, außer PNR und PNL ab dem 66. Tag n=13 ..... 33

Abbildung 21: Mittlere relativer Zuwachs an Höhe (RZH) pro Behandlung, Messungen erfolgten im Pflanzenalter von 18, 43, 66, 85 und 118 Tagen in der Laimburg von Juni bis Oktober 2006, n=15, außer PrNL 66 Tage n=13 und ab 85 Tage n=12, ML ab 85 Tage n=14, MR 85 Tage n=11 118 Tage n=10 ..... 34

Abbildung 22: Mittleres Trockengewicht der einzelnen Behandlungen der Aussaat vom Februar, Laimburg, Juni 2006. Gleiche Buchstaben stellen Behandlungen ohne signifikanten Unterschied dar, n=15..... 35

Abbildung 23: Lage und Streuung der Trockengewichtswerte der verschiedenen Substrate der Aussaat vom Februar nach Arte des Gießwassers, Laimburg, Juni 2006, n=30..... 36

Abbildung 24: Mittleres Trockengewicht der einzelnen Behandlungen der Aussaat in Erde Prettau vom Juni, Laimburg Oktober 2006. Gleiche Buchstaben stellen Behandlungen ohne signifikanten Unterschied dar, n=15..... 38

Abbildung 25: Mittleres Trockengewicht der Behandlungen aus der zweiten Versuchsserie, sowie Prozentanteil der Wurzel- und Sprossbiomasse am Gesamtgewicht, Laimburg, Oktober 2006, n=15 ..... 38

Abbildung 26: Mittleres Trockengewicht der Behandlungen aus der ersten Versuchsserie, sowie Prozentanteil der Wurzel- und Sprossbiomasse am Gesamtgewicht, Laimburg, Juni 2006, n=15..... 39

Abbildung 27: Zusammenhang von Sprosshöhe und Sprosstrockengewicht von *Trifolium alpinum*, Laimburg, Oktober 2006 ..... 40

Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Anzahl der Triebe und Sprosstrockengewicht von *Trifolium alpinum*, Laimburg, Oktober 2006 ..... 40

Abbildung 29: Ausbildung von Wurzelknöllchen an einer 23 (links) und 108 Tage (rechts) alten Pflanze, Laimburg, März und Juni 2006 .....	42
Abbildung 30: Standort des Feldversuchs im Forstgarten von Prettau (Kasern) im Ahrntal.....	45
Abbildung 31: Versuchsanordnung im Forstgarten Prettau, 2006; Felder und Blöcke mit Pflanzen, die in Roottrainer auf Kultursubstrat (A) oder auf Kultursubstrat und Zusatz von der Meran 2000 (B) herangezogen worden sind; verschiedene Pflanzenabstände in der Reihe; zwischen den Feldern Reihensaat mit <i>Trifolium alpinum</i> -Saatgut (S) .....	46
Abbildung 32: Abstände der Pflanzen im Forstgarten Prettau, 2006. Der Pflanzenabstand ist in den Feldern für je drei Reihen zufällig angeordnet (vgl. Abbildung 31).....	47
Abbildung 33: Roottrainer in einer Kiste eingeordnet, offener und geschlossener Roottrainer mit 5 „Zellen“ (links); Jungpflanzen vor dem Selektieren im Gewächshaus Laimburg (rechts), Februar und März 2006 .....	48
Abbildung 34: Fünf Monate alte Pflanzen in Roottrainer; offener Roottrainer ; Setzstange (v.l.n.r.), Forstgarten Prettau, Juli 2006.....	48
Abbildung 35: Schätzrahmen nach der „Göttinger Schätz- und Zählmethode“ 50 cm mal 50 cm, mit Referenzfläche: die graue Fläche stellt 1%, die weiße 5% der $\frac{1}{4}$ m <sup>2</sup> Fläche dar, Forstgarten Prettau, August 2006 .....	50
Abbildung 36: Frequenzrahmen 50 cm mal 50 cm mit 100 Teilflächen (links), Aufnahme der Häufigkeit durch Berührung mit einem spitzen Stab (rechts), Forstgarten Prettau, August 2006 .....	51
Abbildung 37: Lage und Streuung der Trockengewichtswerte von 5 Monate alten Pflanzen (Juli 2006) in Roottrainer auf Kultursubstrat mit (KJ) und ohne (KN) Zusatz von Erde Meran 2000 herangezogen, n=12.....	53
Abbildung 38: Mittleres Trockengewicht, sowie Prozentanteil der Wurzel- und Sprossbiomasse am Gesamtgewicht, Pflanzenalter 5 Monate, Juli 2006, n=12 .....	54
Abbildung 39: Lage- und Streuung der Wurzelknöllchenanzahl von 5 Monate alten Pflanzen (Juli 2006) in Roottrainer auf Kultursubstrat mit (KJ) und ohne (KN) Zusatz von Erde Meran 2000 herangezogen, n=12.....	54
Abbildung 40: Lage und Streuung des Deckungsgrades von <i>Trifolium alpinum</i> im Pflanzenabstand von 7,5 cm und 10 cm zum ersten (September 2006) und zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau, n=8.....	56
Abbildung 41: Lage und Streuung der Deckungsgradeszunahme von <i>Trifolium alpinum</i> im Pflanzenabstand von 7,5 cm und 10 cm mit oder ohne Zusatz von Erde Meran 2000 vom ersten (September 2006) zum zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau, n=4 .....	56

- Abbildung 42: Deckungsgrad von *Trifolium* und Unkraut Pflanzen 46 Tage (t1) und 82 Tage (t2) nach der Aussaat (September und Oktober 2006) im Forstgarten Prettau mit unterschiedlichem Pflanzenabstand (7,5 cm und 10 cm) mit (KJ) oder ohne (KN) Zusatz von Erde Meran 2000, Schätzung mit dem Schätzrahmen ..... 58
- Abbildung 43: Messung des Maximalen Durchmessers einer Pflanze im Forstgarten Prettau, September 2006..... 59
- Abbildung 44: Lage und Streuung der Durchmesserdiffferenz vom ersten (September 2006) zum zweiten (Oktober 2006) Aufnahmeterrnin von *Trifolium alpinum* nach Pflanzenabstand mit (1) oder ohne (0) Zusatz von Erde Meran 2000 im Forstgarten Prettau, n=80..... 60
- Abbildung 45: 2,5 Monate alte *Trifolium alpinum* – Pflanzen aus der Ansaat im Feld hervorgegangen ..... 61
- Abbildung 46: Blühende *Trifolium alpinum* – Pflanze (links) und Fruchtstände beim Abreifen (rechts), Forstgarten Prettau, August und September 2006..... 62
- Abbildung 47: Samen aus dem ersten Keimversuch mit nicht skarifiziertem Saatgut (links) und Samen aus dem zweiten Keimversuch mit skarifiziertem Saatgut (rechts), Oktober 2006 ..... 63
- Abbildung 48: Keimung von nicht skarifiziertem und skarifiziertem Saatgut, das aus der Anzucht im Forstgarten Prettau im Oktober 2006 hervorgegangen war, bei Zimmertemperatur auf Filterpapier, 100% = 134 Samen..... 63

## 8. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Behandlungen der ersten Versuchsserie .....	10
Tabelle 2: Behandlungen der zweiten Versuchsserie .....	11
Tabelle 3: Beschaffenheit der Substrate (Quelle: Amt für Agrikulturchemie – Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg – Autonome Provinz Bozen).....	12
Tabelle 4: Beschaffenheit der Gießwässer vom Gewächshaus Laimburg (Quelle: Amt für Agrikulturchemie – Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg – Autonome Provinz Bozen) .....	13
Tabelle 5: Minimale, Mittlere, Maximale Temperatur und Feuchte im Gewächshaus des Versuchszentrums Laimburg, sowie Außentemperatur im Versuchszeitraum Februar bis September 2006 .....	14
Tabelle 6: Effekte von Substrat, Inokulum und Gießwasser auf die Trockenmasse von <i>Trifolium alpinum</i> – Pflanzen aus den Behandlungen KJR, KJL, KNR, KNL, PJR, PJJ, PNR, PNL, MR und ML im Pflanzenalter von 108 Tagen, Laimburg, Juni 2006 (ANOVA, n=12, p < 0,05).....	35
Tabelle 7: Vergleich des Trockengewichts der Behandlungen Erde Meran 2000 der ersten (Aussaat Februar) und zweiten (Aussaat Juni) Versuchsserie, Laimburg 2006 (ANOVA, p<0,05).....	37
Tabelle 8: Effekte für das Trockengewicht der Pflanzen aus der Ansaat in Erde Prettau im Juni, Laimburg, Oktober 2006 (ANOVA, p<0,05).....	37
Tabelle 9: Effekte auf die Bildung von Rhizobienknöllchen der ersten Versuchsserie, Laimburg, Juni 2006 (ANOVA, p<0,05) .....	42
Tabelle 10: Mittleres Knöllchenvorkommen in den Substraten der ersten Versuchsserie mit und ohne Zusatz von Erde Meran 2000, Laimburg, Juni 2006 .....	43
Tabelle 11: Mittleres Knöllchenvorkommen in der Erde Prettau mit und ohne Zusatz von Erde Meran 2000, sowie in der Kontrollvariante mit Erde Meran 2000 der zweiten Versuchsserie, Laimburg, Oktober 2006.....	43
Tabelle 12: Effekte der Faktoren Inokulum, Pflanzenabstand in der Reihe und Block auf den Deckungsgrad von <i>Trifolium alpinum</i> zum ersten (September 2006) und zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau (ANOVA, p<0,05), sowie der Einfluss der Zeit über das eine Monat (ANCOVA, p<0,05).....	55
Tabelle 13: Effekte auf die Deckungsgraddifferenz von <i>Trifolium alpinum</i> im Forstgarten Prettau, Oktober 2006 (ANOVA, p<0,05) .....	55
Tabelle 14: Effekte auf den Deckungsgrad von Unkräutern zum ersten (September 2006) und zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau (ANOVA, p<0,05), sowie der Einfluss der Zeit über das eine Monat (ANCOVA, p<0,05).....	57

Tabelle 15: Effekte auf die Deckungsgraddifferenz von Unkräutern im Forstgarten Prettau, Oktober 2006 (ANOVA,  $p < 0,05$ ) ..... 58

Tabelle 16: Effekte der Faktoren Inokulum, Pflanzenabstand in der Reihe und Block auf den Horstdurchmesser von *Trifolium alpinum* zum ersten (September 2006) und zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau (ANOVA,  $p < 0,05$ ), sowie der Einfluss der Zeit über das eine Monat (ANCOVA,  $p < 0,05$ ) ..... 59

Tabelle 17: Effekte auf den Zuwachs des Horstdurchmessers von *Trifolium alpinum* vom ersten (September 2006) zum zweiten (Oktober 2006) Aufnahmezeitpunkt im Forstgarten Prettau (ANOVA,  $p < 0,05$ ) ..... 59

Tabelle 18: Mittlerer Horstdurchmesser der *Trifolium alpinum* – Pflanzen nach Aufnahmezeitpunkt 1 (September 2006) und 2 (Oktober 2006) im Forstgarten Prettau 60

Tabelle 19: Anzahl der *Trifolium alpinum* und Unkraut Pflanzen im Forstgarten Prettau pro m<sup>2</sup> zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme im September 2006 ..... 61

Tabelle 20: Anzahl der Pflanzen mit und ohne Beigabe von Erde Meran 2000 von insgesamt 1680, die bis Oktober 2006 im Forstgarten Prettau blühten ..... 62

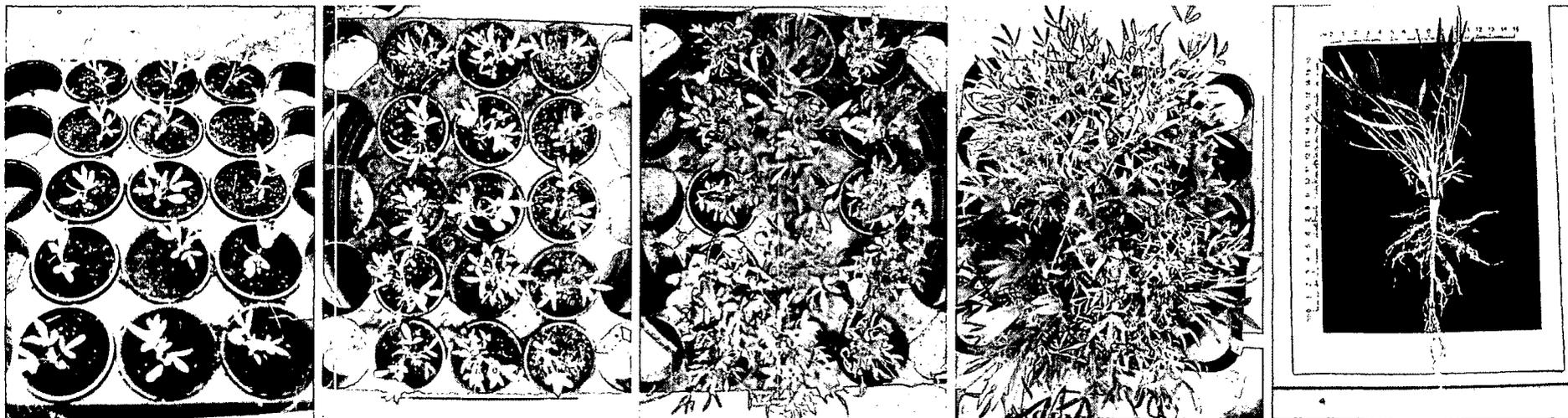
## 9. ANHANG

### 9.1. Beschriftung der Bildreihen

Bildreihe 1: Pflanzen in Kultursubstrat mit Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 30, 53, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	88
Bildreihe 2: Pflanzen in Kultursubstrat mit Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 51, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	88
Bildreihe 3: Pflanzen in Kultursubstrat ohne Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 49, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	89
Bildreihe 4: Pflanzen in Kultursubstrat ohne Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 23, 46, 66, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	89
Bildreihe 5: Pflanzen in Erde Prad mit Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 28, 51, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	90
Bildreihe 6: Pflanzen in Erde Prad mit Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 51, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	90
Bildreihe 7: Pflanzen in Erde Prad ohne Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 51, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	91
Bildreihe 8: Pflanzen in Erde Prad ohne Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	91
Bildreihe 9: Pflanzen in Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 30, 53, 66, 85 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze im Alter von 108 Tagen .....	92
Bildreihe 10: Pflanzen in Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 28, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	92
Bildreihe 11: Pflanzen in der Erde Prettau mit Zusatz Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 18, 66, 85, 118 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze .....	93
Bildreihe 12: Pflanzen in der Erde Prettau mit Zusatz Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 43 85, 118 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze	93

- 
- Bildreihe 13: Pflanzen in der Erde Prettau ohne Zusatz Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 14, 43, 85, 118 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze ..... 94
- Bildreihe 14: Pflanzen in der Erde Prettau ohne Zusatz Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 16, 43, 85 118 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze ..... 94
- Bildreihe 15: Beete des Feldversuchs (links) am 2. September 2006 im Forstgarten von Prettau in Kasern im Ahrntal (rechts, Foto vom 8. Oktober 2006) ..... 95
- Bildreihe 16: 5 Monate alte Pflanzen nach dem Aussetzen im Forstgarten Prettau am 19. Juli 2006 (obern links), Pflanzen am 2. September 2006 (oben rechts), Pflanzen am 8. Oktober 2006 (unten links) und je drei gejätete Reihen im Abstand von 15 cm mit Pflanzenabstand von 7,5 cm und 10 cm (unten rechts) ..... 96
- Bildreihe 17: Deckungsgradaufnahme von *Trifolium alpinum* und Unkraut Pflanzen im Forstgarten Prettau in der Teilfläche Block 4 Roottraineranzuchtsubstrat Kultursubstrat ohne Zusatz von Erde Meran 2000 Pflanzenabstand 7,5 cm zum ersten Aufnahmezeitpunkt 46 Tage nach der Auspflanzung am 2. September 2006 (links) und zum zweiten Aufnahmezeitpunkt 82 Tage nach der Auspflanzung am 8. Oktober 2006, Deckungsgrad von *Trifolium alpinum* von 50% zu beiden Aufnahmetermenen, Deckungsgradänderung von Unkräutern von 25% zu 40%, Schätzrahmen von 50 cm mal 50 cm mit Referenzfläche von 1% in Grau und 5% in Weiß ..... 97

9.2. Darstellung der Bildreihen



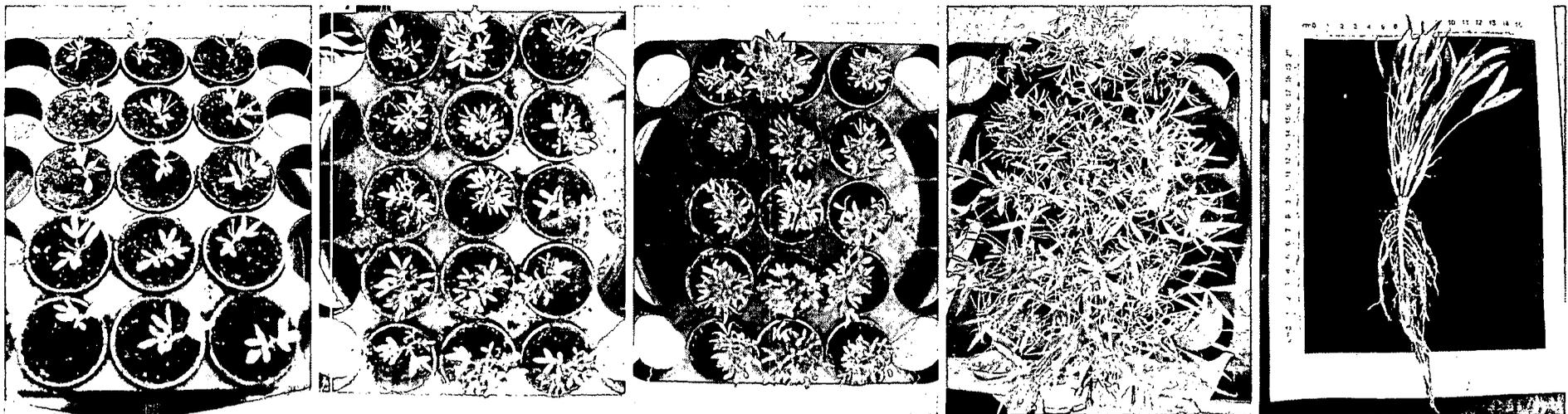
Bildreihe 1: Pflanzen in Kultursubstrat mit Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 30, 53, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



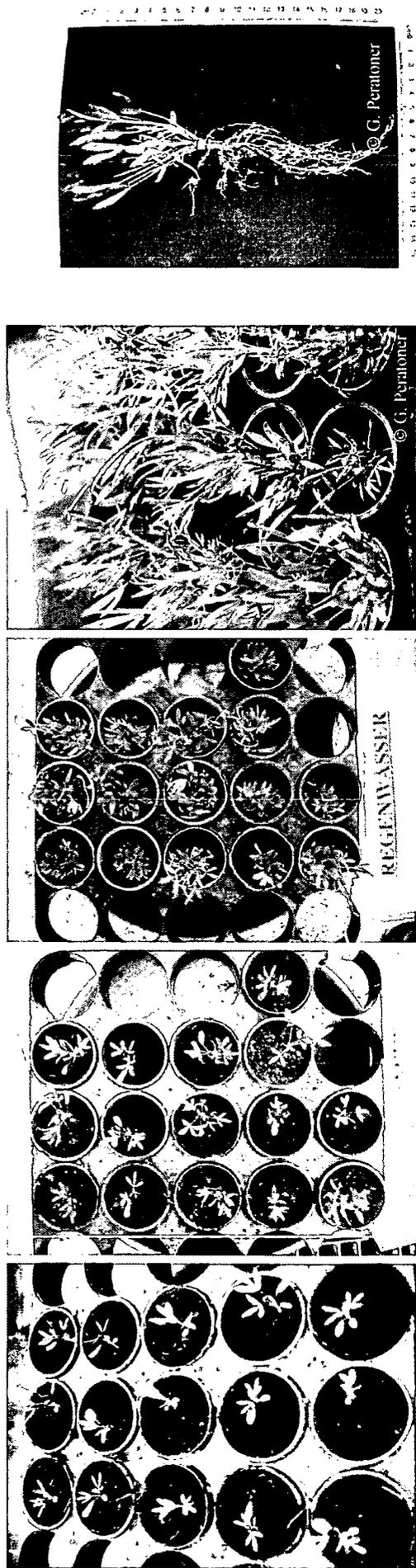
Bildreihe 2: Pflanzen in Kultursubstrat mit Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 51, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



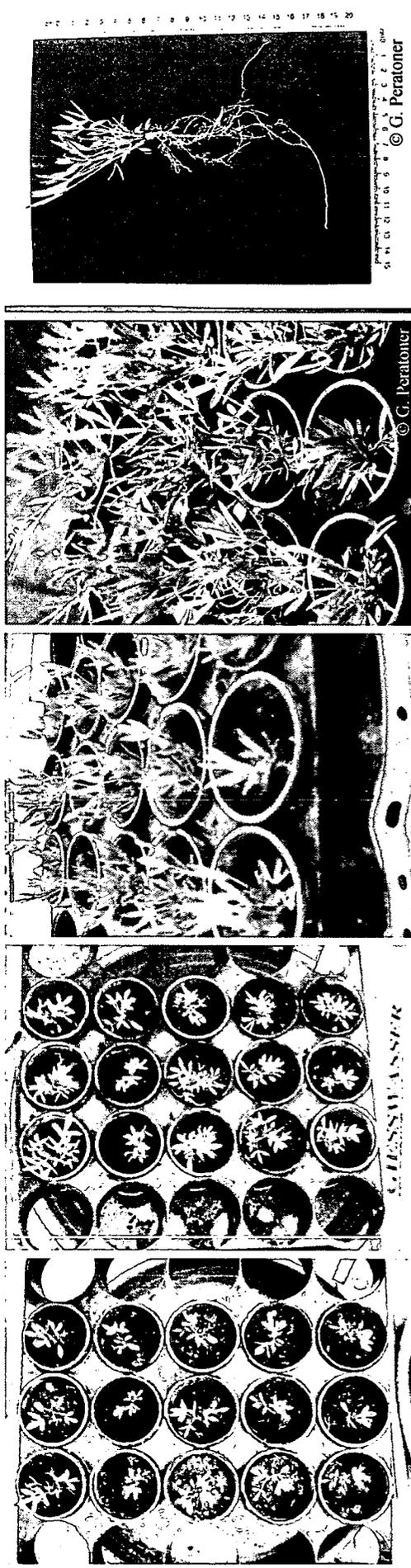
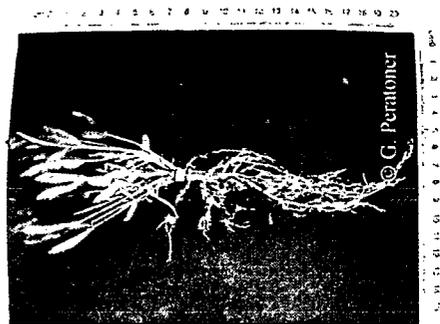
Bildreihe 3: Pflanzen in Kultursubstrat ohne Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 49, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



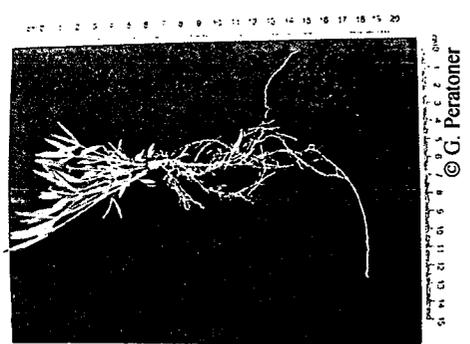
Bildreihe 4: Pflanzen in Kultursubstrat ohne Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 23, 46, 66, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



Bildreihe 5: Pflanzen in Erde Prad mit Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 28, 51, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



Bildreihe 6: Pflanzen in Erde Prad mit Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 51, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze

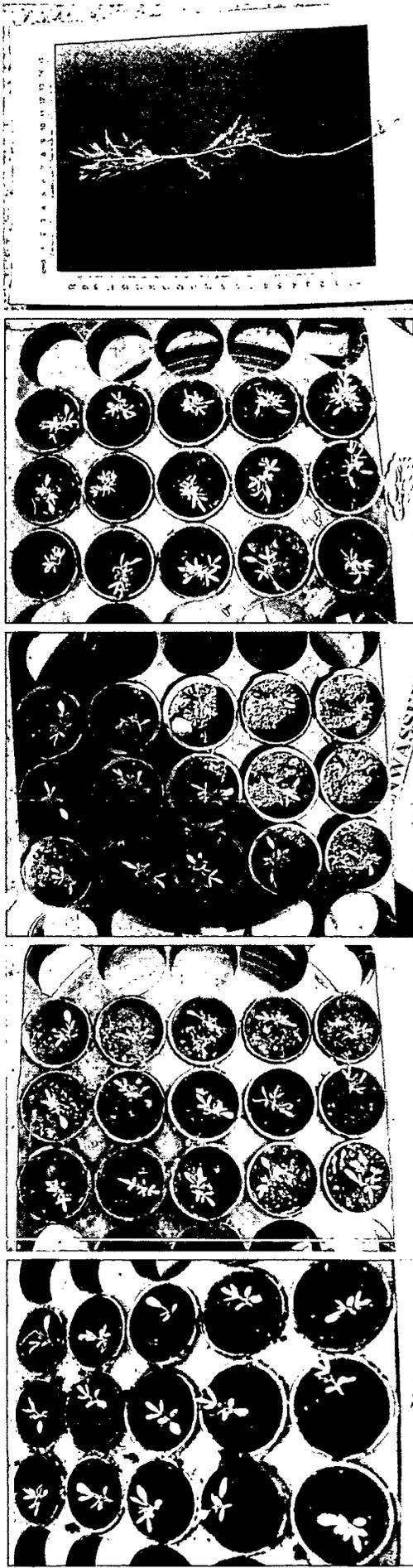




Bildreihe 7: Pflanzen in Erde Prad ohne Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 51, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



Bildreihe 8: Pflanzen in Erde Prad ohne Zusatz von Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 23, 43, 66, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



Bildreihe 9: Pflanzen in Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 30, 53, 66, 85 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze im Alter von 108 Tagen



Bildreihe 10: Pflanzen in Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 28, 66, 85, 108 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



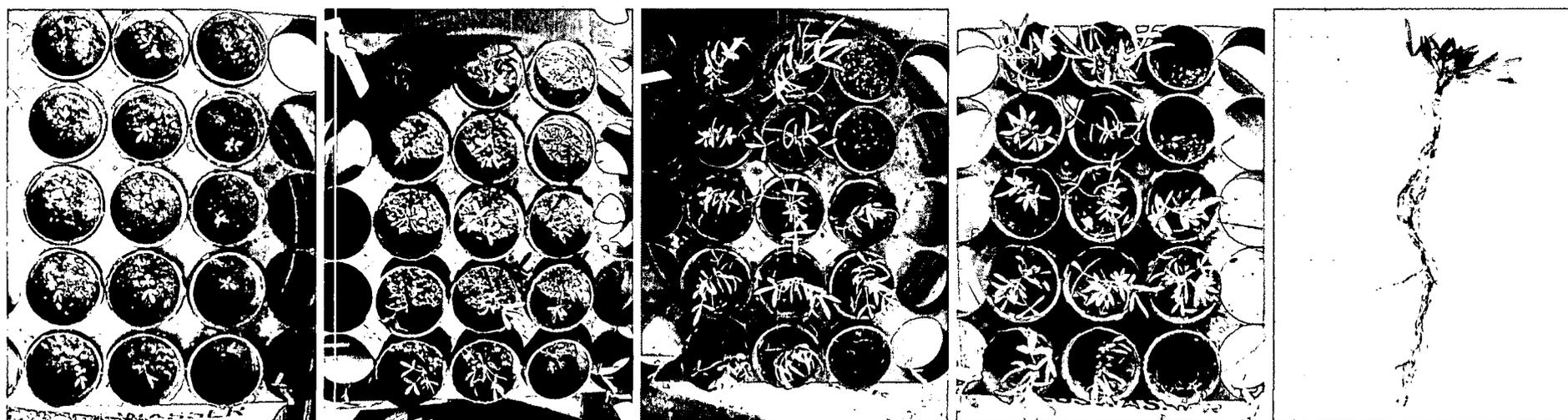
Bildreihe 11: Pflanzen in der Erde Prettau mit Zusatz Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 18, 66, 85, 118 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



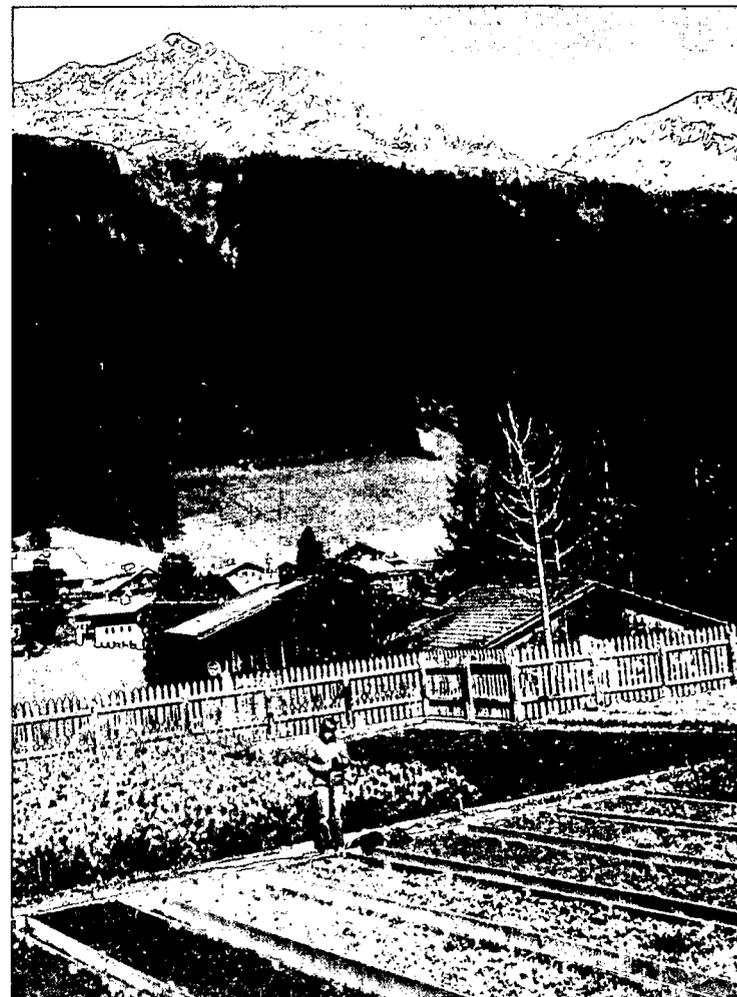
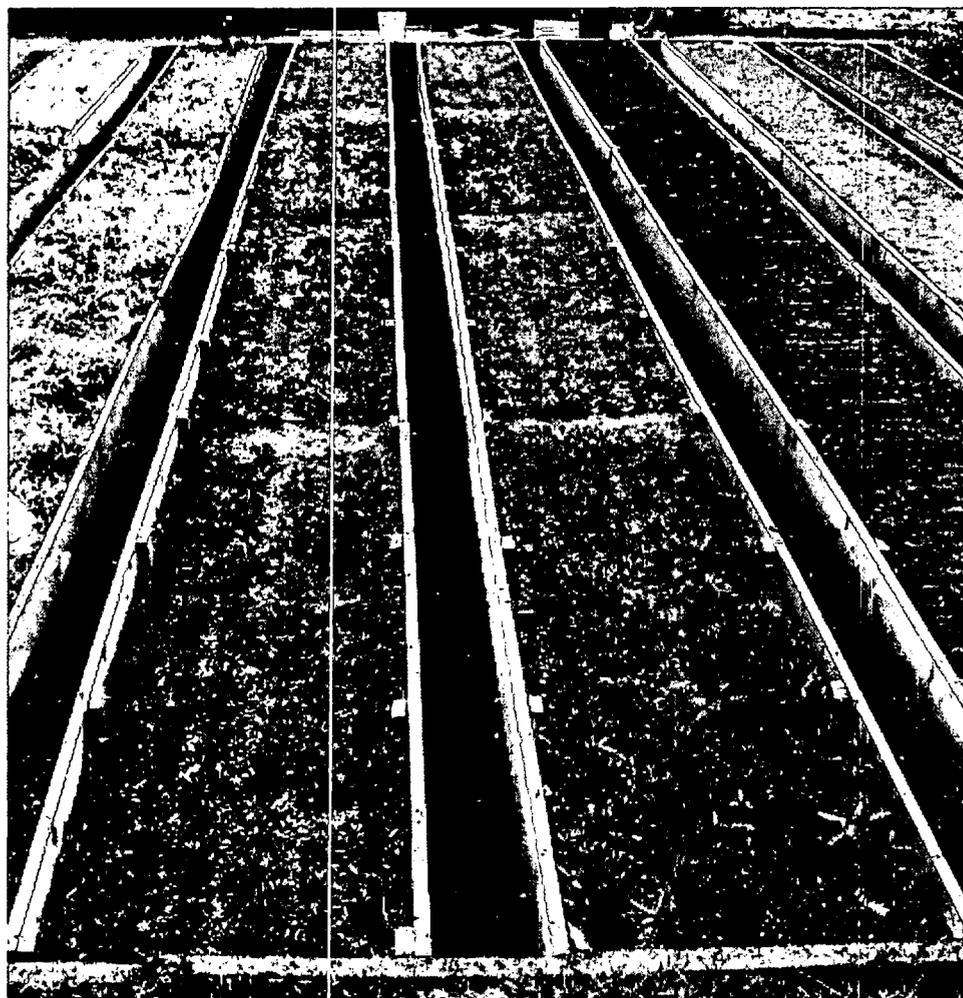
Bildreihe 12: Pflanzen in der Erde Prettau mit Zusatz Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 43 85, 118 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



Bildreihe 13: Pflanzen in der Erde Prettau ohne Zusatz Erde Meran 2000 gegossen mit Regenwasser im Pflanzenalter von 14, 43, 85, 118 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



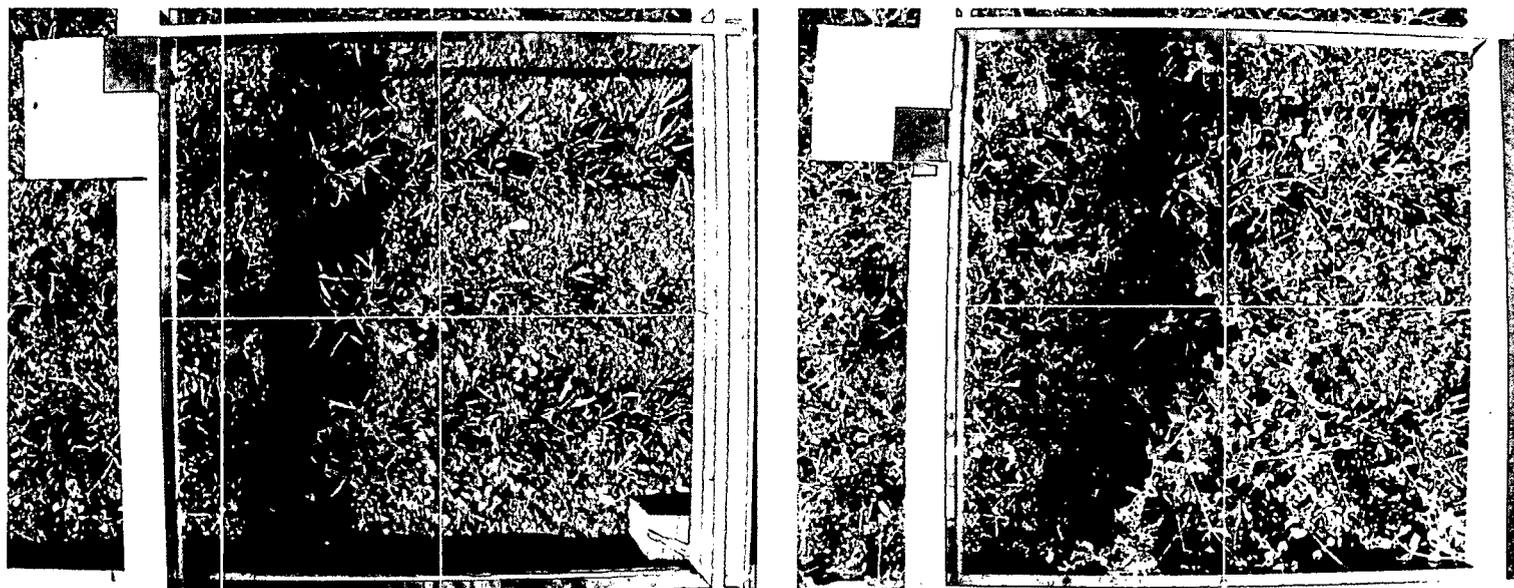
Bildreihe 14: Pflanzen in der Erde Prettau ohne Zusatz Erde Meran 2000 gegossen mit Leitungswasser im Pflanzenalter von 16, 43, 85 118 Tagen, sowie eine geerntete Pflanze



Bildreihe 15: Beete des Feldversuchs (links) am 2. September 2006 im Forstgarten von Prettau in Kasern im Ahrntal (rechts, Foto vom 8. Oktober 2006)



Bildreihe 16: 5 Monate alte Pflanzen nach dem Aussetzen im Forstgarten Prettau am 19. Juli 2006 (obern links), Pflanzen am 2. September 2006 (oben rechts), Pflanzen am 8. Oktober 2006 (unten links) und je drei gejätete Reihen im Abstand von 15 cm mit Pflanzenabstand von 7,5 cm und 10 cm (unten rechts)



Bildreihe 17: Deckungsgradaufnahme von *Trifolium alpinum* und Unkraut Pflanzen im Forstgarten Prettau in der Teilfläche Block 4 Rootaineranzuchtsubstrat Kultursubstrat ohne Zusatz von Erde Meran 2000 Pflanzenabstand 7,5 cm zum ersten Aufnahmezeitpunkt 46 Tage nach der Auspflanzung am 2. September 2006 (links) und zum zweiten Aufnahmezeitpunkt 82 Tage nach der Auspflanzung am 8. Oktober 2006, Deckungsgrad von *Trifolium alpinum* von 50% zu beiden Aufnahmetermen, Deckungsgradänderung von Unkräutern von 25% zu 40%, Schätzrahmen von 50 cm mal 50 cm mit Referenzfläche von 1% in Grau und 5% in Weiß